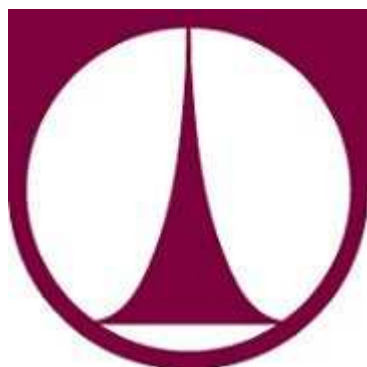


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů



**KONCEPCE HYBRIDNÍCH VOZIDEL**

**CONCEPT OF HYBRID VEHICLES**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

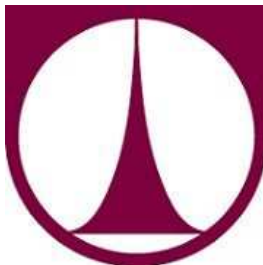
Jaroslav Palivoda

2013

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů



Obor

B2341 Strojírenství

Zaměření

2302R022 stroje a zařízení

Dopravní stroje a zařízení

**KONCEPCE HYBRIDNÍCH VOZIDEL**

**CONCEPT OF HYBRID VEHICLES**

Bakalářská práce

KVM – BP - 285

Jaroslav Palivoda

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Brabec, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Josef Popelka

Počet stran: 50

Počet obrázků: 46

Počet příloh: 0

Počet výkresů: 0

2013

Prostor pro oficiální zadání

# KONCEPCE HYBRIDNÍCH VOZIDEL

## Anotace

Práce se zabývá problematikou hybridních vozidel. Popisuje historii hybridů, jednotlivá uspořádání podle toku výkonů a stupně hybridizace. Dále se zabývá podrobným popsání tří vybraných koncepcí hybridů u vozidel, které se sériově vyrábí. V závěru práce je ukázka výpočtu převodových čísel jednoduchého planetového soukolí a dále výpočet základních provozních otáček jednotlivých komponent u vybraného hybridu (Toyota Prius). Tyto výpočty byly provedeny v bezproblémově dostupném softwaru Microsoft Excel.

Klíčová slova: hybrid, hybridní automobil, Full hybrid, Plug-in hybrid, sériový hybrid, paralelní hybrid, kombinovaný hybrid, generátor

# CONCEPT OF HYBRID VEHICLES

## Annotation

The work deals with hybrid vehicles. Describes the history of hybrids, each arranged according to the flow of power and degree of hybridization. It also deals with a detailed description of the three selected concepts of hybrid vehicles that are mass produced. The conclusion is sample calculation transference numbers of simple planetary gear and calculation operating speed of the basic components of the selected hybrid (Toyota Prius). These calculations were made seamlessly available software Microsoft Excel.

Key words: hybrid, hybrid car, Full hybrid, plug-in hybrid, series hybrid, parallel hybrid, combined hybrid generator

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Desetinné třídění:        | (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)             |
| Zpracovatel:              | TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů |
| Dokončeno:                | 2013  |
| Archivní označení zprávy: | (nevyplňovat)   |

## Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V ..... dne .....

.....  
podpis

## Poděkování

Tímto bych chtěl velice poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Brabcovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a za pomoc při otázkách k vypracování bakalářské práce a mému konzultantovi Ing. Josefu Popelkovi.

Zároveň bych chtěl poděkovat firemním pobočkám automobilek v České republice, které mi poskytly informace o jejich hybridních vozidlech, které sériově vyrábí.

V neposlední řadě mé díky patří rodině a přátelům za jejich velikou podporu, kterou mi poskytli během studia.

### Seznam symbolů a jednotek

|            |                                |                    |
|------------|--------------------------------|--------------------|
| $P$        | výkon                          | [kW]               |
| $M_k$      | krouticí moment                | [Nm]               |
| $m$        | hmotnost                       | [kg]               |
| $n$        | otáčky                         | [1/min]            |
| $V$        | objem                          | [cm <sup>3</sup> ] |
| $v$        | rychlost                       | [km/h]             |
| $M$        | krouticí moment                | [Nm]               |
| $t$        | čas                            | [s]                |
| $r$        | poloměr                        | [m]                |
| $n_k$      | otáčky korunového kola         | [1/min]            |
| $n_g$      | otáčky generátoru              | [1/min]            |
| $n_{kola}$ | otáčky kola                    | [1/min]            |
| $n_{sm}$   | otáčky spalovacího motoru      | [1/min]            |
| $n_s$      | otáčky satelitu                | [1/min]            |
| $i$        | převodové číslo                | [ - ]              |
| $i_{CVT}$  | převodové číslo CVT převodovky | [ - ]              |
| $i_d$      | převodové číslo diferenciálu   | [ - ]              |
| $Z_k$      | počet zubů korunového kola     | [ - ]              |
| $Z_p$      | počet zubů planetového kola    | [ - ]              |
| $Z_s$      | počet zubů satelitu            | [ - ]              |

# Obsah

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Obsah .....</b>  | <b>- 8 -</b>  |
| <b>1.1. Co znamená a co je hybridní automobil? .....</b>        | <b>- 10 -</b> |
| <b>1.2. Historie.....</b>                                       | <b>- 10 -</b> |
| <b>2. Dělení hybridů.....</b>                                   | <b>- 14 -</b> |
| <b>2.1. Rozdělení podle toku výkonu .....</b>                   | <b>- 14 -</b> |
| <b>2.2. Sériový hybrid .....</b>                                | <b>- 14 -</b> |
| <b>2.2.1. Výhody sériového hybridu:.....</b>                    | <b>- 15 -</b> |
| <b>2.2.2. Nevýhody sériového hybridu: .....</b>                 | <b>- 15 -</b> |
| <b>2.3. Paralelní hybrid .....</b>                              | <b>- 16 -</b> |
| <b>2.3.1. Výhody paralelního hybridu: .....</b>                 | <b>- 16 -</b> |
| <b>2.3.2. Nevýhody paralelního hybridu:.....</b>                | <b>- 17 -</b> |
| <b>2.4. Kombinovaný hybrid.....</b>                             | <b>- 17 -</b> |
| <b>2.4.1. Výhody kombinovaného hybridu:.....</b>                | <b>- 17 -</b> |
| <b>2.4.2. Nevýhody kombinovaného hybridu:.....</b>              | <b>- 18 -</b> |
| <b>3. Dělení podle stupně hybridizace.....</b>                  | <b>- 18 -</b> |
| <b>3.1. Micro Hybrid.....</b>                                   | <b>- 18 -</b> |
| <b>3.2. Mild hybrid.....</b>                                    | <b>- 18 -</b> |
| <b>3.3. Full hybrid .....</b>                                   | <b>- 19 -</b> |
| <b>3.4. Plug-in hybrid .....</b>                                | <b>- 19 -</b> |
| <b>4. Popis vybraných tří typů hybridů .....</b>                | <b>- 20 -</b> |
| <b>4.1. Tabulka popisující koncepci vybraných hybridů .....</b> | <b>- 20 -</b> |
| <b>5. Toyota Prius Plug-in hybrid .....</b>                     | <b>- 20 -</b> |
| <b>5.1. Režimy pohonného ústrojí .....</b>                      | <b>- 22 -</b> |
| <b>5.1.1. Rozjezd.....</b>                                      | <b>- 22 -</b> |
| <b>5.1.2. Zrychlování.....</b>                                  | <b>- 22 -</b> |
| <b>5.1.3. Jízda vysokou rychlostí .....</b>                     | <b>- 23 -</b> |
| <b>5.2 Brzdění rekuperace.....</b>                              | <b>- 23 -</b> |
| <b>5.3. EV mód .....</b>  | <b>- 24 -</b> |
| <b>5.4. Couvání.....</b>  | <b>- 24 -</b> |
| <b>5.5. Převodovka CVT.....</b>                                 | <b>- 24 -</b> |
| <b>5.6. Baterie .....</b>                                       | <b>- 26 -</b> |
| <b>5.7. Motor-generátor.....</b>                                | <b>- 27 -</b> |
| <b>5.8. Spalovací motor.....</b>                                | <b>- 27 -</b> |
| <b>6. BMW ActiveHybrid 5.....</b>                               | <b>- 28 -</b> |



|  |        |
|--|--------|
| 6.1. Technická data:   | - 28 - |
| 6.2. Diagramy  | - 29 - |
| 6.3. Automatická převodovka  | - 30 - |
| 6.4. Schéma přenosu točivého momentu                               | - 30 - |
| 6.5. Tabulka, která ukazuje, co je použito pro převodové rychlosti | - 31 - |
| 6.6. Elektromotor  | - 31 - |
| 6.7. Rotor a stator  | - 32 - |
| 6.8. Připojení   | - 33 - |
| 6.9. Chlazení  | - 33 - |
| 6.10. Oddělovací spojka  | - 34 - |
| 6.11. Torzní tlumič vibrací  | - 34 - |
| 6.12. Vysokonapět'ové bateriové jednotky                           | - 35 - |
| 7. Volvo V60 Plug-in hybrid  | - 36 - |
| 7.1. Tři jízdní režimy vozidla                                     | - 37 - |
| 7.1.1. Pure  | - 37 - |
| 7.1.2. Hybrid  | - 37 - |
| 7.1.3. Power   | - 38 - |
| 7.2. Šetření energie   | - 38 - |
| 7.3. Nabíjení  | - 38 - |
| 7.4. Pohon všech kol AWD   | - 39 - |
| 7.5. Dvoustupňový brzdový systém                                   | - 39 - |
| 8. Výpočty planetového soukolí                                     | - 40 - |
| 8.1. První varianta výpočtu  | - 40 - |
| 8.1.1. Volnoběh  | - 41 - |
| 8.1.2. Zrychlování   | - 41 - |
| 8.1.3. Jízda vysokou rychlostí                                     | - 43 - |
| 8.2. Druhá varianta výpočtu  | - 44 - |
| 8.3. Ukázky výpočtů z Excelu                                       | - 45 - |
| 8.3.1. Převodová čísla planetového soukolí                         | - 45 - |
| 8.3.2. Výpočty otáček generátoru a korunového kola                 | - 46 - |
| 8.3.3. Grafy z výpočtů pro městský cyklus                          | - 47 - |
| 9. Závěr   | - 48 - |
| 10. Seznam použité literatury                                      | - 50 - |

# 1. Úvod

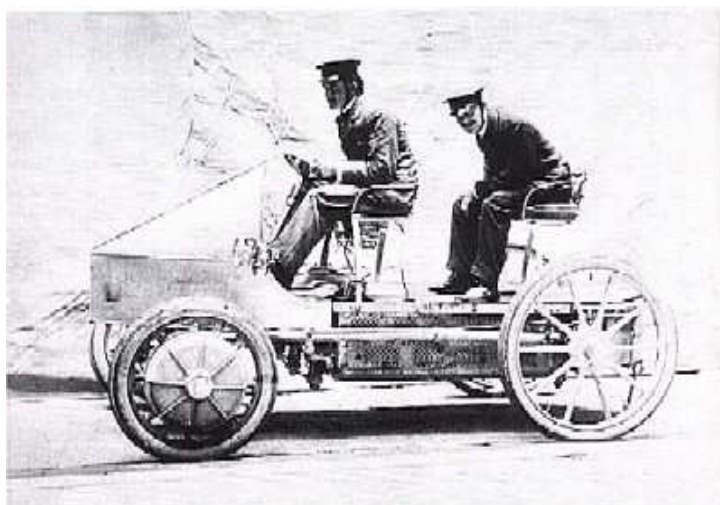
## 1.1. Co znamená a co je hybridní automobil?

Hybridní automobil je vozidlo, které má dva nebo více zdrojů pohybové energie. Tento systém je dobře vyřešen u kolejových vozidel, které se pohybují po neelektrifikovaných tratích, což jsou dieselové-generátorové lokomotivy.

Hybridní pohon je alternativa a možnost jak využívat kinetickou energii jedoucího vozidla pro rekuperaci energie. Zároveň umožňuje přednosti klasického pohonu se spalovacím motorem. Všechny agregáty, které jsou použity u koncepcí hybridních vozidel, jsou ve svém provozním režimu navrženy tak, aby dosahovaly co nejvyšší účinnosti. Při pohybu vozidel pracuje spalovací motor s maximální tepelnou účinností. Naopak hybridní koncepce pohonu umožňuje rekuperaci energie při brzdění motorem, která se ukládá do baterií, jež se vyrábějí s co nejdelší životností baterií.

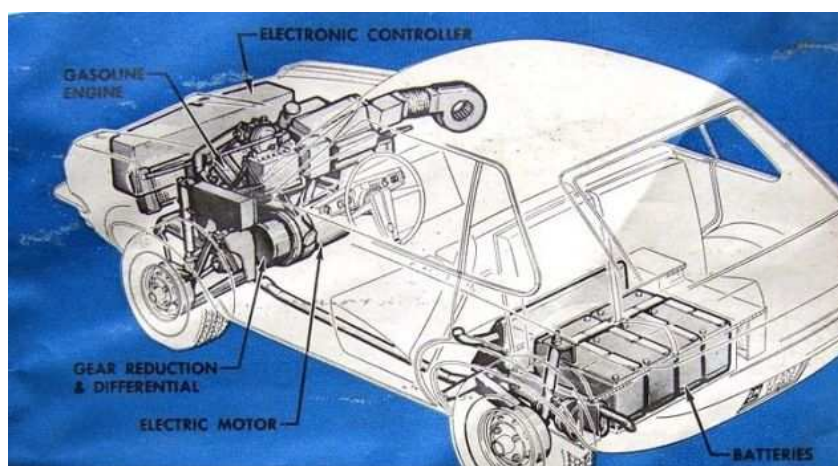
## 1.2. Historie

První hybridní automobil je téměř stejně starý jako celý automobilový průmysl. Prvním automobilem, který měl kombinaci více pohonů, byl Lohner-Porsche v roce 1899. Byl postaven inženýrem Ferdinandem Porsche pro vídeňského továrníka na kočáry Ludwiga Lohnera. Spalovací motor poháněl generátor, který vyráběl elektrickou energii pro elektromotory. Ty byly umístěné v nábojích kol přední poháněné nápravy. Později se také objevila verze 4x4. Tato verze měla v každém náboji elektromotor. Nevýhodou tohoto automobilu byla vysoká hmotnost olověných akumulátorů, která se pohybovala okolo 1800kg.



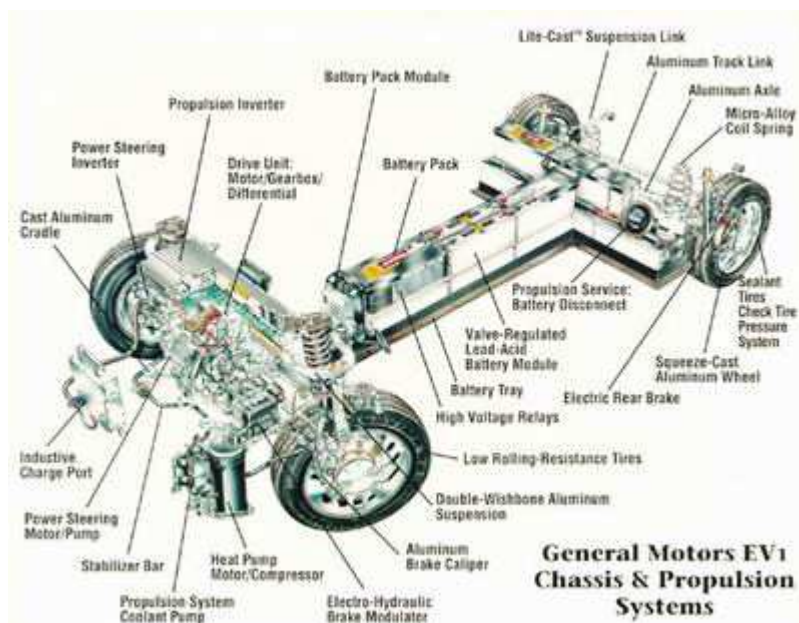
Obr.1 První automobil Lohren-Porsche 1899

V roce 1969 byl General Motors představen experimentální plug-in hybrid. Automobil byl navržen jako malý tři dveřový hatchback pro přepravu osob na kratší vzdálenosti. Karosérie byla vyrobena ze sklo-laminátu a její design připomínal Ford Pinto. Jako spalovací motor byl použit dvouválcový benzinový motor o objemu  $575\text{cm}^3$  a elektromotor. Šest 12V baterií, z kterých byla čerpána elektřina, bylo uloženo u zadní nápravy s možností dobíjení ze sítě. Čistě elektrický pohon umožňoval jet maximální rychlostí 16km/h. V kombinaci se spalovacím motorem bylo možno dosáhnout až 100km/h.



Obr.2 Průřez experimentálním vozidlem GM XP-883

General Motors nabídl plně hybridní systém v městských autobusech. Hybridní automobil byl k dispozici v roce 1996 a byl pouze k pronájmu, byl to typ GM EV1. Na Detroitském autosalonu v roce 1998 byly představeny další čtyři prototypy GM využívající platformy EV1. První prototyp byl diesel-elektrický paralelní hybrid. Druhý prototyp byl sériový hybrid s plynovou turbínou pohánějící vysokorychlostní generátor s permanentními magnety. Třetí prototyp byl CNG verze na stlačený zemní plyn a čtvrtý prototyp byla verze s palivovými články.



Obr.3 General Motors EV1 - podvozek a pohonné systémy

V Evropě se průkopníkem na konci osmdesátých let stala automobilka Audi. První koncept Audi bylo Audi Duo, které bylo představeno na Ženevském autosalonu, který se konal v březnu roku 1990. Automobil měl koncepci pohonu systém plug-in paralel hybrid. Elektromotor Siemens o výkonu okolo 13 koní poháněl kola na zadní nápravě. Energii elektromotoru mu dodávaly Nikl-kadmiové (Ni-Cd) baterie, které se dobýjely ze sítě. Přední kola nápravy poháněl klasický pěti válcový spalovací motor. Automobil mohl jet po městě čistě elektrickým pohonem a na spalovací motor za městem, kde měl automobil větší spotřebu danou nárůstem hmotnosti baterií.

V druhé generaci Audi Duo byla nabídnuta verze 4x4 pod označením quattro na bázi modelu 100 Avant. Použité elektromotory v druhé generaci měli 29 koní. Elektromotor poháněl stále zadní nápravu, ale za pomoci mezinápravového diferenciálu Torsen, kola poháněl i benzinový spalovací motor o objemu 2000 cm<sup>3</sup>.



Obr.4 Audi duo quattro

Třetí generace Audi byl plug-in hybrid Audi Duo III, které se dostalo do sériové výroby a bylo představeno v roce 1997. Automobil byl postaven na základě Audi A4 Avant. Audi A4 Avant používal naftový motor 1.9 TDI 90 koní a byl použit elektromotor 29 koní a 60Nm. Elektromotor byl napájen olověnými bateriemi, které byly dobíjeny buď ze sítě, nebo během jízdy při brzdění motorem. Automobil mohl jet pouze na čistě elektrický pohon.

V roce 2010 se Audi v modelu Audi Q5 začaly používat modernější s větší životností baterie Lithium-iontové (Li-ion).

Nejvýznamnější automobilka ve vývoji hybridního pohonu je Toyota se svým modelem Prius. Už z názvu Prius je patrna dominanta této automobilky. Označení modelu vzniklo ze slova prior, což znamená vpředu. Toyota vyvíjela svůj hybrid tři roky. Po třech letech vývoje se Prius dostal do prodeje na podzim v roce 1997 a to pouze pro Japonský trh. Při uvedení na trh se Prius začal potýkat s problémy ohledně výdrže baterií. Proto se Prius na evropský a americký trh dostal až v roce 2001, kdy byly tyto problémy již eliminovány.

Na americký trh se už v roce 1999 dostal jiný hybrid a byla jím Honda Insight. Honda Insight byl malý dvoumístný automobil se splývající zádí a tento model Hondy svou siluetou připomínal model EV1 od General Motors. Honda dbala na velmi lehkou konstrukci, proto vůz využíval ve velké míře hliník a plasty. Vůz za použití těchto materiálů dosahoval pouze hmotnosti 891kg a to i pro verzi s CVT a klimatizací. Verze s CVT měla kombinovanou spotřebu jen 3,4l / 100km a emisní hodnocení SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle). SULEV označuje vozidla, která mají o 90% nižší

produkci škodlivin, než je běžný průměr vozidel s klasickým spalovacím motorem v daném roce. Honda používala ve svém modelu řídicí jednotku IMA (Integrated Motor Assist), spalovací motor byl litrový celohliníkový tříválec s výkonem 70 koní a elektromotor, který měl 13 koní. Elektromotor byl umístěn přímo na výstupu z klikového hřídele, tak tedy mezi motorem a převodovkou. V zadní části vozu byly umístěny nikl-metal hybrid (NI-MH) akumulátory. Nevýhoda tohoto automobilu byla v tom, že používala první generaci systému IMA. Tento systém neumožňoval jízdu pouze na elektromotor. Elektromotor sloužil také jako startér.



Obr.5 Ultra tenký stejnosměrný motor/generátor jednotky IMA

## 2. Dělení hybridů

### 2.1. Rozdělení podle toku výkonu

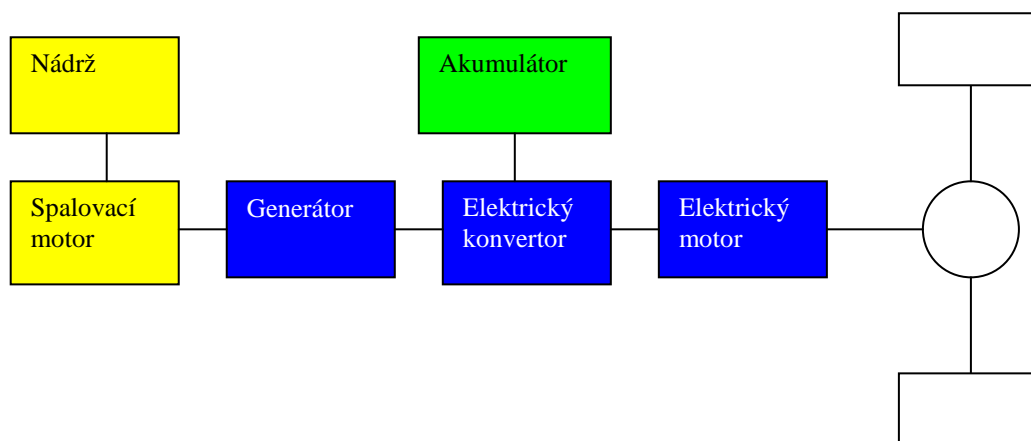
- sériový
- paralelní
- kombinovaný

### 2.2. Sériový hybrid

U sériové struktury spalovací motor není přímo spojen s poháněnými koly, ale pohání generátor. Generátor má dvě funkce, slouží buď k dobíjení baterií nebo dodává energii pro elektromotor, který pohání kola automobilu. Pokud chce vůz dosáhnout maximálního výkonu, je zapotřebí, aby byla dodávána energie z baterií i z generátoru. U tohoto systému není za potřeby převodovka, protože elektromotor je účinnější v širším



rozsahu otáček než spalovací motor. Ve voze může být použito více elektromotorů. Počet elektromotorů je určen počtem poháněných náprav, nebo jsou-li elektromotory umístěny v nábojích kol. Jako akumulátor kinetické energie je sériový hybrid vybaven superkondenzátory či setrvačníkem. Tato struktura sériového hybridu se využívá a používá u lokomotiv.



Obr.6 Schéma sériového hybridu

### 2.2.1. Výhody sériového hybridu:

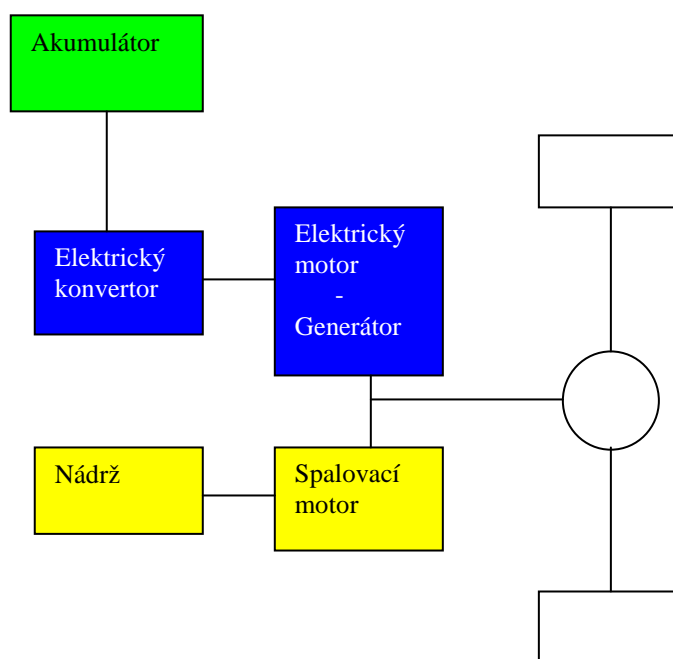
- otáčky spalovacího motoru nejsou závislé na otáčkách kol
- spalovací motor v okolí návrhového bodu se pohybuje prakticky konstantními otáčkami, ve kterých má největší účinnost a tedy i nejmenší spotřebu paliva
- větší možnosti při návrhu vozidla
- spalovací motor může být nahrazen plynovou turbínou nebo lineárním motorem
- není zapotřebí použít převodovku, diferenciál a hnací hřídele pokud jsou elektromotory umístěny v nábojích kol
- lze navrhnout nižší podlahu
- vyšší efektivita při pomalé přerušované jízdě ve městě

### 2.2.2. Nevýhody sériového hybridu:

- výrazný nárůst neodpružené hmoty, což způsobuje problém při návrhu odpružení, u offroadů je snížený komfort za použití tuhé nápravy
- odstranění mechanického spojení spalovacího motoru s poháněnými koly, což je spojka, převodovka, diferenciál a hnací hřídel, zapříčiní to pokles účinnosti pohonu
- mechanická účinnost 98% nato elektrická cesta přes generátor a měnič do elektromotoru má účinnost 70–80%
- při rostoucí rychlosti je výhodnější paralelní zapojení

### 2.3. Paralelní hybrid

Tento systém struktury pohonu se používá u většiny vyráběných hybridů. Spalovací motor a elektromotor je s koly propojen skrze mechanickou převodovku. Umístění elektromotoru a generátoru je nejčastěji mezi spalovacím motorem a převodovkou. Generátor plní funkci alternátoru a startéru. Baterie, které se používají k akumulaci elektrické energie, mají větší napětí než je 12V. Protože je zvýšena účinnost spalovacího motoru, tak je posilovač řízení a klimatizace poháněn elektromotorem. Tím je způsobeno, že posilovač řízení a klimatizace nejsou závislé na otáčkách motoru. Pokud zařízení nepracuje, není mu dodávána energie.



Obr.7 Schéma paralelního hybridu

Spalovací motor a elektromotor je spojen hřídelí a výsledný moment je dán součtem jejich okamžitých momentů. Když je využíván jen jeden motor, tak ten druhý rotuje s ním a nedodává výkon nebo se může odpojit přes spojku. Nejčastěji se při této koncepci používá spojení přes planetovou převodovku. Obvyklý režim je, že většinu výkonu dodává spalovací motor a elektromotor se zapojuje při akceleraci.

#### 2.3.1. Výhody paralelního hybridu:

- při nízkých momentech spalovací motor pracuje s větším momentem, než je zapotřebí, a tak se přebytečná energie využívá k dobíjení baterií
- umožňuje větší účinnost než sériové uspořádání

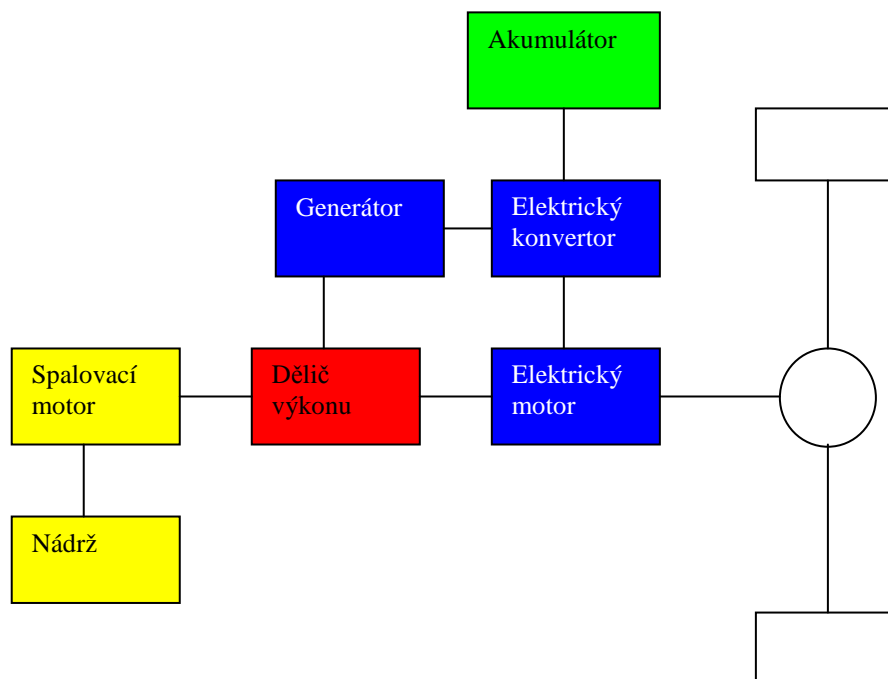


### 2.3.2. Nevýhody paralelního hybridu:

- u nových vozidel se používá tato koncepce jen zřídka, nedosahuje požadovaných emisních hodnot pro hybridní vozidla
- nedosahuje požadované kombinované spotřeby

### 2.4. Kombinovaný hybrid

Kombinovaný hybrid je vybaven děličem výkonu. Dělič výkonu zajistí, aby tok výkonu spalovacího motoru šel ke kolům buď mechanickou cestou, nebo elektrickou. O tom, kolik procent výkonu půjde mechanickou nebo elektrickou cestou, rozhoduje akcelerace, nízká rychlost, vysoká rychlost, brzdění.



Obr.8 Schéma kombinovaného hybridu

#### 2.4.1. Výhody kombinovaného hybridu:

- nejvýhodnější uspořádání z hlediska spotřeby paliva
- spalovací motor a elektromotor pracují na sobě zcela nezávisle
- je možný pohon pouze na elektrický pohon
- dostupný vyšší krouticí moment pro akceleraci a výkon

### **2.4.2. Nevýhody kombinovaného hybridu:**

- konstrukčně náročné řešení

## **3. Dělení podle stupně hybridizace**

- Micro hybrid
- Mild hybrid
- Full hybrid
- Plug-in hybrid

### **3.1. Micro Hybrid**

Za Micro hybrid je považováno vozidlo vybaveno systémem start & stop. Je to nejjednodušší varianta hybridu. U tohoto pohonu je použit za jízdy pouze klasický spalovací motor. Vozidlo má předimenzovaný startér, který umožňuje časté zhasínání a startování vozidla podle příkazů řídicí jednotky.

U druhé generace Micro hybridů je využita funkce rekuperace brzděné energie. Zde nám startér při brzdění slouží jako alternátor k dobíjení akumulátoru. Úspornost těchto vozidel je velice nízká a největší úsporu nám poskytuje v městském provozu nebo v dlouhých kolonách, kde se často čeká.

### **3.2. Mild hybrid**

Mild hybrid může být také označen jako Power assist hybrid.

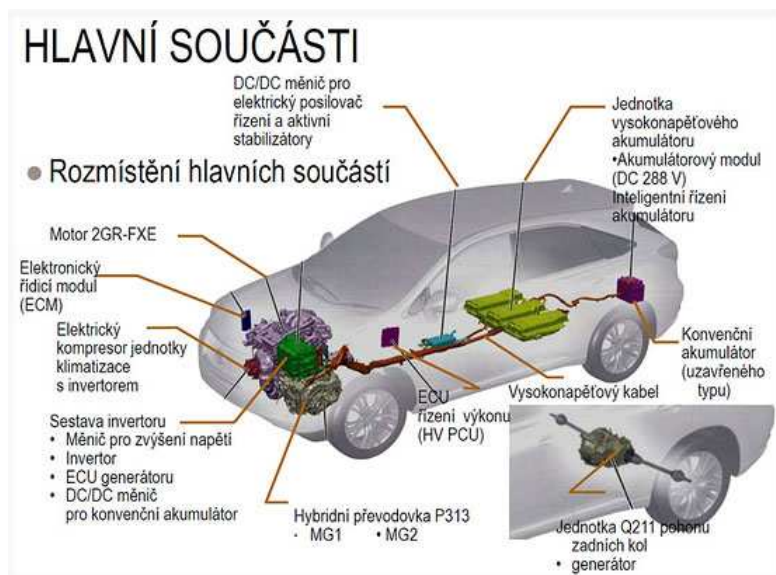
K pohonu hybridního vozidla po celou dobu jízdy je využíván spalovací motor. Elektromotor je umístěn mezi motorem a převodovkou. Elektromotor pouze pomáhá spalovacímu motoru při rozjezdu a při akceleraci vozidla. Díky tomu se může snížit objem motoru a tím i zlepšit spotřeba vozidla. Elektromotor se může chovat jako generátor a rekuperaci elektrické energie do akumulátoru. Využití režimu start-stop. Na křižovatce je spalovací motor vypnut a ostatní spotřebiče a klimatizace zůstávají v chodu. Pokud řidič sundá nohu z brzdového pedálu, tak spalovací motor opět naskočí. Největší úspory paliva se dosahuje v městském provozu. Není možné, aby se Mild hybrid pohyboval pouze elektřinou.



Obr. 9 Mild hybrid

### 3.3. Full hybrid

Full hybridy jsou vybaveny děličem výkonu, tak mohou kombinovat jak spalovací, tak elektrický pohon. Full hybridy jsou schopny jet pouze na elektrický pohon. Pokud se vozidlo pohybuje na čistě elektrický pohon, má nulové emise. Jízda na elektřinu je omezena kapacitou akumulátorů a výkonností elektromotoru. Jakmile začne klesat napětí na akumulátoru, zapne se spalovací motor. Full hybrid se vyznačuje velkou úsporou paliva. Průkopníkem takového pohonu je Toyota a Lexus. U Full hybridů si řidič může volit, na jaký pohon chce cestovat.



Obr. 10 Audi Q7 Full hybrid

### 3.4. Plug-in hybrid

Plug-in hybridy se dají dobíjet přímo ze zásuvky nebo klasickým způsobem rekuperací při jízdě. To je také jeho hlavní výhodou. Představují tak mezistupeň mezi klasickými

hybridy a elektromobily. Plug-in hybridy stejně jako Full hybridy umožňují jet pouze na elektrický pohon, na spalovací motor a nebo kombinace obou pohonů. Nejznámější vozidlo, které používá tuto technologii je Toyota Prius.



Obr. 11 Toyota Prius Plug-in hybrid

#### 4. Popis vybraných tří typů hybridů

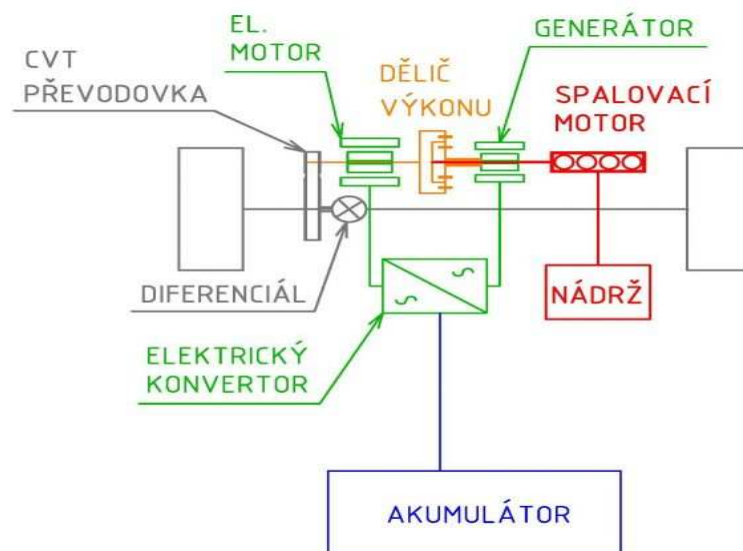
V dalším textu budou více popsány tři různé koncepce hybridů Toyota Prius Plug-in hybrid, BMW ActiveHybrid 5 a Volvo V60 Plug-in hybrid.

##### 4.1. Tabulka popisující koncepci vybraných hybridů

| Hybrid                      | Podle toku výkonu | Podle stupně hybridizace | Typ motoru |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|------------|
| Toyota Prius Plug-in hybrid | Kombinovaný       | Plug-in                  | Benzín     |
| BMW Activhybrid 5           | Sériový           | Full                     | Benzín     |
| Volvo V60 Plug-in hybrid    | Kombinovaný       | Plug-in                  | Diesel     |

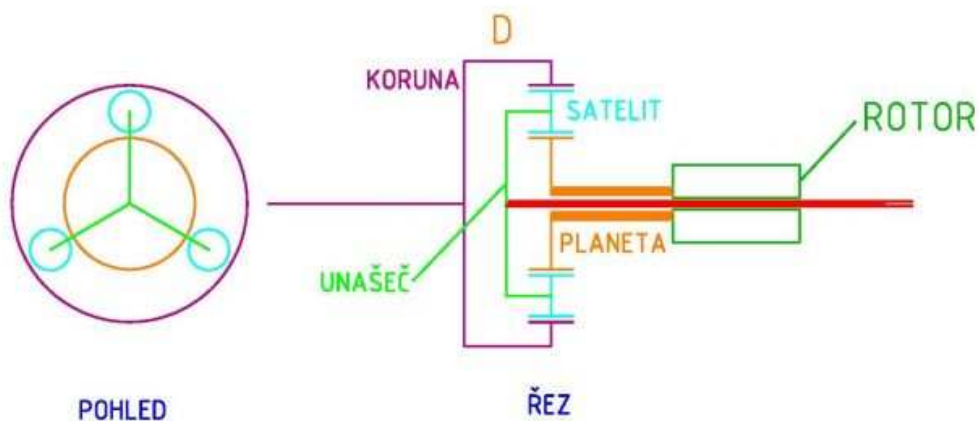
#### 5. Toyota Prius Plug-in hybrid

Prius je kombinovaný hybrid a nejdůležitější člen je dělič výkonu. Vůz nemá klasickou manuální nebo automatickou převodovku. Prius má dva motor-generátory jeden z nich zastupuje funkci startéru. Motor je pevně spojen s poháněnými koly přes jeden převodový poměr. Vůz nemá klasický alternátor, energie pro spotřebiče je dodávána z motor-generátoru.



Obr.12 Schéma pohonu Toyota Prius

Mechanický dělič výkonu je planetové soukolí, které se skládá z korunového kola, planetového kola, satelitu a unašeče. Planetové soukolí nám umožňuje větvit tok výkonu. U Priusu je použit planetový diferenciál se dvěma stupni volnosti.

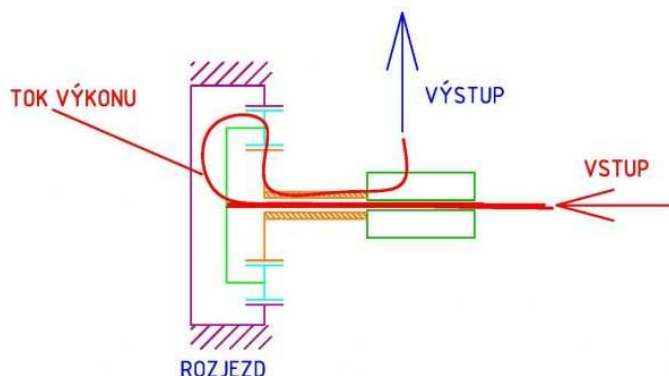


Obr.13 Mechanický dělič výkonu planetové soukolí

Planetový diferenciál má dva centrální členy. První člen je koruna, která má vnitřní ozubení. Druhým členem je planeta, která má vnější ozubení. Mezi korunou a planetou jsou umístěny na unašeči satelity. Satelity zajišťují kontakt mezi korunou a planetou. Satelity jsou nejčastěji na unašeči nasazeny na jehličkových ložiskách. Unašeč je spojen s výstupem ze spalovacího motoru. Planeta je spojena s rotorem motor-generátoru.

## 5.1. Režimy pohonného ústrojí

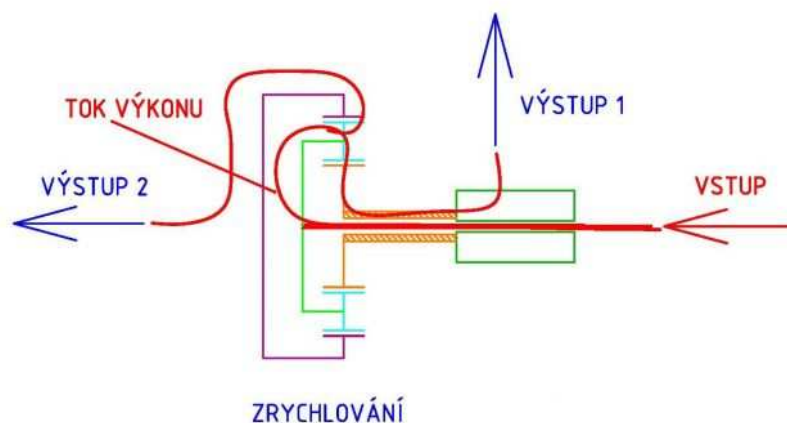
### 5.1.1. Rozjezd



Obr.14 Planetové soukolí s vyznačením tokem výkonu

Jelikož kola při rozjezdu stojí, tak se rozbíhají z nulových otáček. To naznačuje fialové šrafování na korunovém kole. Korunové kolo je spojeno s hřídelí, která skrze ocelový pás a pár ozubených kol pohání klec nápravového diferenciálu. Odtud jde výkon přes kuželová kola na poloosy. Červený hřídel značí výstup ze spalovacího motoru, který je spojen s unašečem. Dále unašeč pohání satelity. Když korunové kolo stojí, tak satelity obíhají po jeho vnitřním ozubení a otáčejí planetou. Planeta je spojena s rotorem motor-generátorem. Rotor motor-generátoru se otáčí a ze statoru je odebírán elektrický proud. Červená křivka naznačuje celý proces toku výkonu. Získaná elektrická energie prochází elektrickým konvertorem a je spotřebovávána na pohon druhého motor-generátoru. Druhý motor-generátor je nalisován na hřídeli korunového kola.

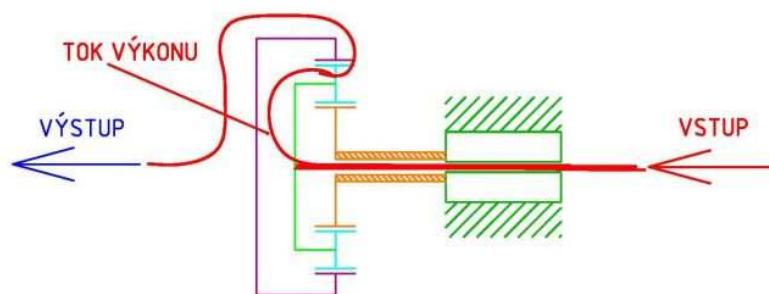
### 5.1.2. Zrychlování



Obr.15 Planetové soukolí s vyznačením tokem výkonu

S poháněnou nápravou je spojeno korunové kolo. Otáčení korunového kola způsobuje, že dojde k poklesu otáček planetového kola. Planetové kolo roztáčí rotor první motor-generátor. Za tohoto stavu dochází k větvení výkonu. S rostoucími otáčkami koruny klesají otáčky prvního motor-generátoru. Roste hodnota výkonu přenášeného mechanickou cestou (výstup 2) nad hodnotou přenášeného výkonu elektricky (výstup 1).

### 5.1.3. Jízda vysokou rychlostí



Obr.16 Planetové soukolí s vyznačením tokem výkonu

Při jízdě vysokou rychlostí se planetové kolo vůči korunovému skoro neotáčí. Tím je způsobeno, že se rotor prvního motor-generátoru prakticky neotáčí. Výkon je přenášen pouze mechanickou cestou.

## 5.2 Brzdění rekuperace

Jakmile sundá řidič nohu z plynu, tak spalovací motor nedodává výkon a volně se otáčí. Zdrojem energie se stávají točící se kola a otáčí rotorem druhého motor-generátoru. Dochází k přeměně kinetické energie vozu na elektrickou. Tak se z druhého elektromotoru stává generátor. Z vinutí statoru se odebírá elektrický proud, který se využívá k dobíjení baterií. Pokud je využita celá kapacita baterií, začne řídicí jednotka automaticky vysílat elektrický proud do vinutí statoru motor-generátoru 1, dochází tím k brzdění jeho rotoru a přes dělič i spalovacího motoru. Režim brzdění motorem se dá aktivovat i ručně voličem na přístrojové desce. Volič se umístí do polohy B, kde značně ulehčuje brzdám, které se mohou navrhovat menší. Na tento

režim lze brzdít do určité rychlosti, s klesající rychlostí klesá účinek brzdění motorem. Na tento režim se vozidlo zastavit nedá, zastavit se musí klasickými brzdami.

### **5.3. EV mód**

Umožňuje jízdu pouze na elektrický režim bez použití spalovacího motoru. Může být aktivován tlačítkem hlavně u evropských verzí. Motor-generátor 2 je napájen z baterií. Protože se klikový hřídel neotáčí, unašeč je zastaven a dochází k volným otáčkám rotoru motor-generátoru 1. Pokud poklesne maximální kapacita baterií na 60%, je spuštěn spalovací motor. Tím pádem řídicí jednotka umožňuje využít pouze 40% kapacity z baterií a to z důvodu prodloužení životnosti baterií.

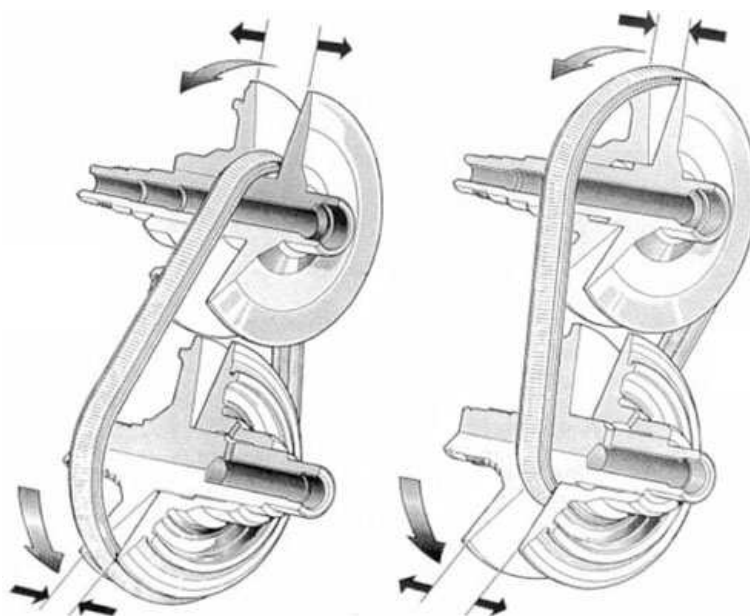
### **5.4. Couvání**

Jelikož vozidlo nemá klasickou převodovku, není možno použít ke zpětnému chodu přídatné ozubené kolo a zajistit tím zpětný chod. U této koncepce se zajistí zpětný chod přepólováním statoru motor-generátoru 2. Přepólováním dojde k tomu, že se rotor otáčí opačným směrem a vozidlo couvá. Nevýhodou je, že k couvání musí být dostatečně nabití baterií. Popřípadě se dá použít dodatečná energie z motor-generátoru 1, který je poháněn spalovacím motorem. Tímto způsobem se dají nabíjet baterie, pokud vůz stojí.

### **5.5. Převodovka CVT**

Převodovka CVT umožňuje plynule měnit převodový poměr, a tak je motor při zrychlování udržován stále v pásnu nejvyššího točivého momentu. Tím je způsobeno, že otáčky motoru jsou konstantní a vozidlo zrychluje. Tento typ převodovky umožňuje motoru setrvat v nízkých otáčkách, obzvlášť během jízdy po dálnici a tím uspořit palivo. Pokud je zapotřebí akcelarovat, je pořád v zásobě dostatek výkonu. Převodovka se obvykle skládá z ocelového pásu, který pobíhá po dvou kuželech. Příčným posuvem kuželů se mění průměr opásání na vstupu a výstupu, a tím se mění výsledný převodový poměr.



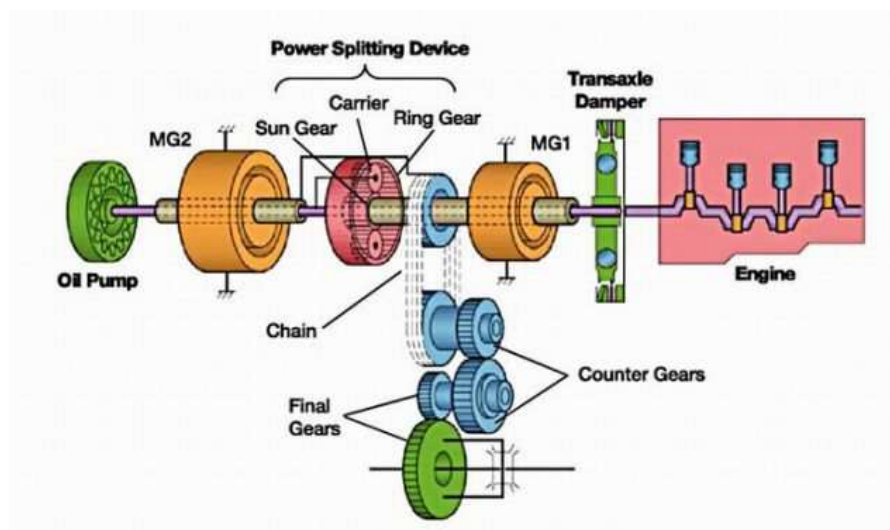


Obr.17 Princip převodovky CVT, kužele se přibližují a oddalují tím se mění poloměr opásání na vstupním a výstupním hřídeli



Obr.18 Power split device - Dělič výkonu

Toyota svůj převodový systém nazývá Electrically Controlled Variable Transmission (EVCT). Kola vozu jsou pevně spojena se spalovacím motorem. Rotor motor-generátoru 2, který je nalisován na hřídeli, z kterého je výkon přenášen ocelovým pásem, ale poloměr opásání se nemění. Vůz má jeden stálý převodový poměr. Toto řešení se dá využít pouze u hybridního vozu, kterému při rozjezdu z nízkých otáček pomáhá elektromotor. Elektromotor má na rozdíl od spalovacího motoru k dispozici 400Nm již od 0 – 1200 1/min. Kolísání otáček spalovacího motoru je zajištěno spoluprací děliče, motor-generátoru 1 a motor-generátoru 2. Maximální rychlost vozu je omezena otáčkami motor-generátoru 2.



Obr.19 Přenos výkonu na kola přes ocelový pás včetně ozubených kol a stálého převodu

Ocelový pás je zde použit i z jiného důvodu. V převodovkách, kde jsou použity převážně ozubená kola se šikmými zuby, tak ozubení vyvozuje axiální síly. Axiální síly se třeba zachycují například kuželovými ložisky. Uložení výstupního hřídele děliče neumožňuje použití těchto ložisek. Použití ozubených kol s přímými zuby by došlo k velkému hluku, proto se používá ocelový pás.

## 5.6. Baterie

Třetí generace Priusu používá Nikl-hybrid (Ni-Mh) baterie. Baterie se skládají z 28 modulů. Moduly obsahují 6 článků, každý článek má napětí 1,2V. Celkové napětí je 201,6V a však díky elektronice je napětí celého hybridního systému zvýšeno na 500V. Hmotnost baterií je 45kg a měrný výkon byl zvýšen oproti první generaci z 600W/kg na 1250W/kg. Správné fungování, optimální teplotu a nabití baterií nám zajišťuje elektronika. Podle Toyoty by se po 290 000km neměl měnit jejich výkon a kapacita.



Obr.20 Baterie a elektrický konvertor

### 5.7. Motor-generátor

Oba elektromotory mají téměř podobnou konstrukci. Liší se hlavně velikostí. Oba jsou tří fázové synchronní motory s permanentními magnety na střídavý proud. Vinutí elektromotoru je pouze ve statoru. Motor-generátor 1 je spojen s planetovým kolem a slouží zároveň jako startér spalovacího motoru a řídí jeho otáčky. Maximální výkon motor-generátoru 1 je 18 kW. Motor-generátor 2 je spojen s korunovým kolem děliče výkonu. Jeho dostatečný výkon je 50kW, což mu dává možnost pohánět vůz nebo ho brzdít při generátorovém chodu. Oba motor-generátory jsou chlazeny vodou.



Obr.21 Vinutí motor-generátoru 2

### 5.8. Spalovací motor

U spalovacího motoru je použit řadový čtyřválec o objemu 1,5 litrů, výkon 76 koní v 5000 1/min a 115Nm ve 4200 1/min. Motor nepoužívá klasický Ottův cyklus, kdy se sací ventil zavírá před dolní úvratí, ale Atkinsonův cyklus, kdy se sací ventil zavírá až za dolní úvratí. Tak dochází k tomu, že se část komprese nevyužívá a vzduch uniká zpět do sacího potrubí. Při nižších otáčkách a zatížení je požadavek menšího množství vzduchu k naplnění válce. U konvenčních motorů dochází ke škrcení vzduchu klapkou na vstupu do válce, což způsobuje ztráty.

U Atkinsonova cyklu je dráha komprese menší než dráha expanze. Více tepla se přeměňuje v mechanickou práci a motor spotřebuje méně paliva.

Dále byly u motoru sníženy třecí ztráty a to odsazením na klikovém hřídeli. Píst je tak při zdvihu tlačен menší silou na stěnu válce. Maximální otáčky motoru jsou omezeny na 5000min-1., proto jsou některé díly odlehčeny a celý klikový mechanismus má menší setrvačné síly.

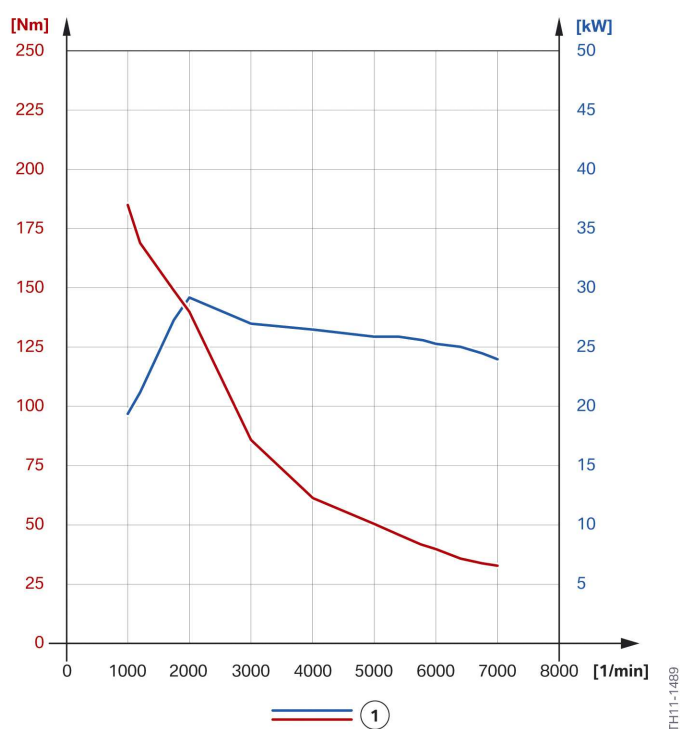
## 6. BMW ActiveHybrid 5

ActiveHybrid 5 je u BMW třetí sériové vozidlo s hybridní technologií, které poprvé kombinuje řadový šestiválec a elektrický pohon. ActiveHybrid 5 je Full hybrid s lithium-iontovými bateriemi a 8-stupňovou automatickou převodovkou. Na plně elektrický pohon může vozidlo dosáhnout rychlosti až 60km/h. Při průměrné rychlosti 35km/h poskytují baterie vysoké napětí na 4km. Jeho pohonný systém generuje výkon na výstupu systému 250kW. Zrychlení BMW ActiveHybridu 5 je z 0 – 100 za 5,9s. Průměrná spotřeba paliva se pohybuje mezi 6,4 – 7,0l na 100km.

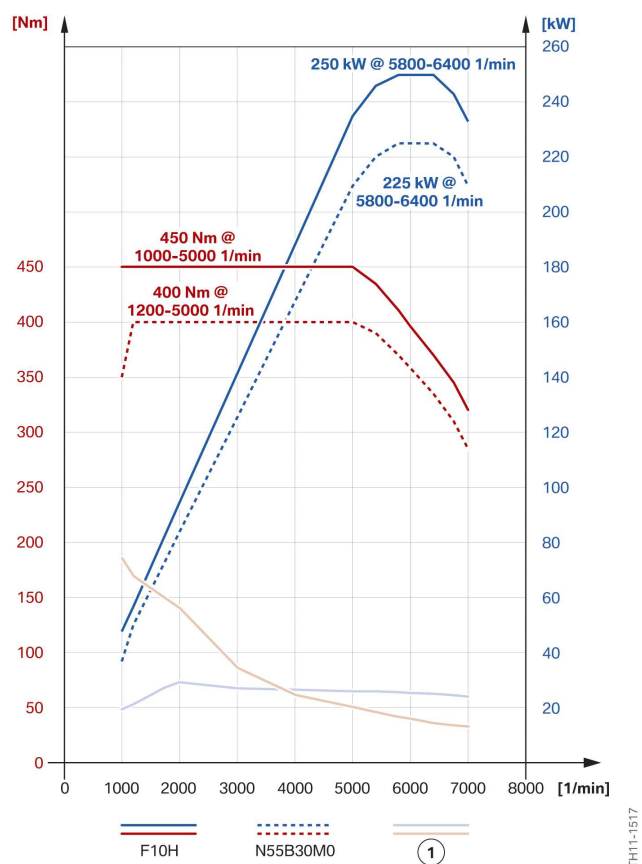
### 6.1. Technická data:

| <i>Motor a převodovka</i>  | <i>jednotky</i>    | <i>BMW 535i</i> | <i>ActiveHybrid5</i> |
|----------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| Počet ventilů na válec     | -                  | 4               | 4                    |
| Objem                      | [cm <sup>3</sup> ] | 2979            | 2979                 |
| Maximální výkon            | [kW]               | 225             | 225                  |
| Maximální kroutící moment  | [Nm]               | 400             | 400                  |
| Kompletní systém napájení  | [kW]               |                 | 250                  |
| Typ baterií                |                    | -               | Lithium-ion          |
| Výkon elektromotoru        | [kW/bhp]           | -               | 40/55                |
|                            | [rpm]              | -               | od 1800              |
| Maximální kroutící moment, | [Nm]               | -               | 210                  |
| Elektromotor               | [rpm]              | -               | až 1300              |
| <i>Výkon vozidla</i>       |                    |                 |                      |
| Akcelerace 0-100km/h       | [s]                | 6,1             | 5,9                  |
| Maximální rychlost         | [km/h]             | 250             | 250                  |
| <i>Spotřeba a emise</i>    |                    |                 |                      |
| Městský provoz             | [l/100km]          | 11,9            | 5,7 – 6,2            |
| Mimo město                 | [l/100km]          | 6,4             | 6,7 – 7,4            |
| Kombinovaná spotřeba       | [l/100km]          | 8,4             | 6,4 – 7,0            |
| Emise CO <sub>2</sub>      | [g/km]             | 195             | 149 – 163            |

## 6.2. Diagramy

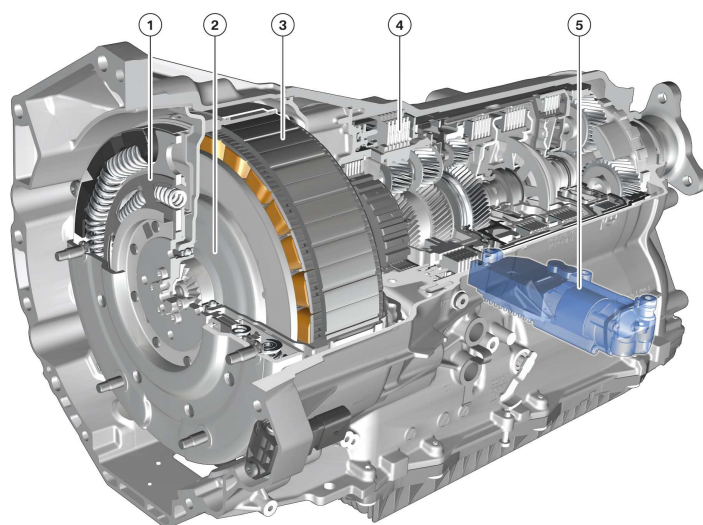


Obr.22 Diagram plného zatížení elektromotoru



Obr. 23 Diagram plného zatížení spalovacího motoru v kombinaci s elektromotorem v porovnání jen se spalovacím motorem

### 6.3. Automatická převodovka

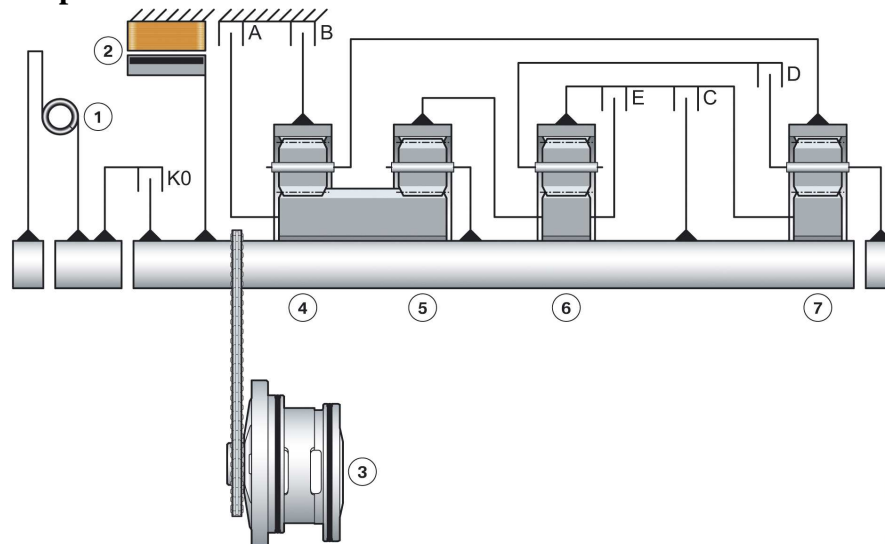


TH11-1491

Obr.24 Řez automatickou převodovkou

1. torzní tlumič vibrací
2. oddělovací spojka
3. elektromotor
4. kotoučová brzda B
5. pomocné elektrické olejové čerpadlo

### 6.4. Schéma přenosu točivého momentu



TH11-1499

Obr.25 Schéma přenosu točivého momentu

- |                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| 1. torzní tlumič vibrací       | A. kotoučová brzda A  |
| 2. elektromotor                | B. kotoučová brzda B  |
| 3. mechanické olejové čerpadlo | C. kotoučová spojka C |
| 4. soukolí 1                   | D. kotoučová spojka D |
| 5. soukolí 2                   | E. kotoučová spojka E |
| 6. soukolí 3                   | KO. Oddělovací spojka |
| 7. soukolí 4                   |                       |

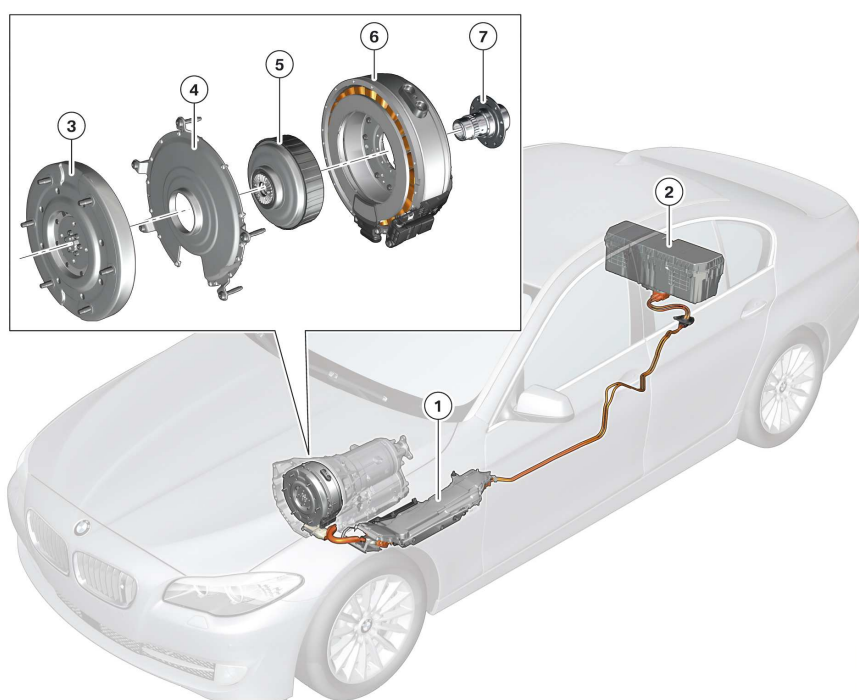


## 6.5. Tabulka, která ukazuje, co je použito pro převodové rychlosti

| Rychlostní stupeň | Brzda A | Brzda B | Spojka C | Spojka D | Spojka E |
|-------------------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1                 | •       | •       | •        |          |          |
| 2                 | •       | •       |          |          | •        |
| 3                 |         | •       | •        |          | •        |
| 4                 |         | •       |          | •        | •        |
| 5                 |         | •       | •        | •        |          |
| 6                 |         |         | •        | •        | •        |
| 7                 | •       |         | •        | •        |          |
| 8                 | •       |         |          | •        | •        |
| R                 | •       | •       |          | •        |          |

## 6.6. Elektromotor

Elektromotor je to synchronní stroj s permanentními magnety. Z vysokonapěťových je možné převést elektrickou energii na kinetickou, kterou je poháněno vozidlo. Na elektromotor je vozidlo schopno jet rychlostí až 60km/h, elektromotor může být využíván jako podpora pro spalovací motor při akceleraci například pro předjíždění. Při brzdění elektromotor převádí kinetickou energii na elektrickou a ta je ukládána do vysokonapěťových baterií.



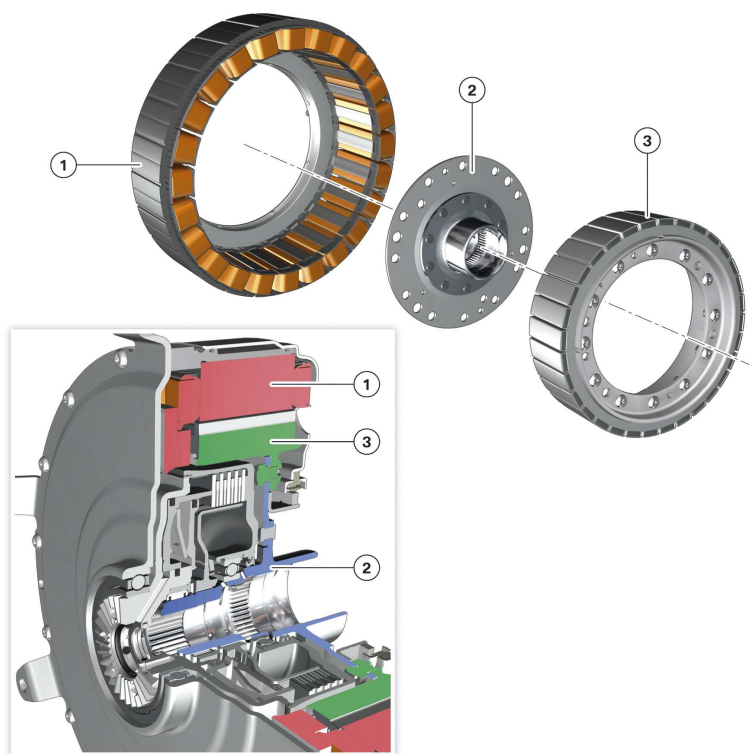
Obr.26 F10H umístění a instalace sekundární elektrické součásti

TH11-1293

1. elektronika elektromotoru
2. vysokonapěťové bateriové jednotky
3. torzní tlumič vibrací
4. kryt pro statorovou podporu
5. spojka
6. elektromotor
7. dutý hřídel

Elektromotor spolu s torzním tlumičem vibrací a spojkou tvoří jeden celek. Tato jednotka je integrována v obale 8-stupňové automatické převodovce a váží pouze 21kg. Jelikož je elektromotor umístěn na místě místo hydraulického měniče, tak jsou rozměry převodovek pro klasickou koncepci nebo pro hybridní koncepci stejné.

### 6.7. Rotor a stator



TH11-1442

Obr.27 Elektromotoru

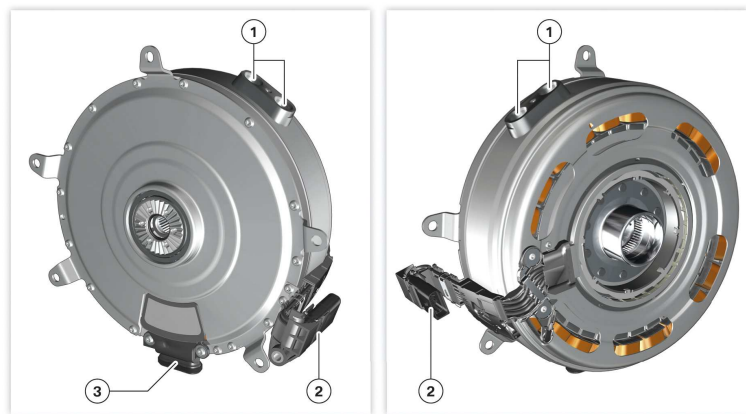
1. stator
2. dutá hřídel s přírubou
3. rotor

Elektromotor je navržen jako vnitřní rotor. Vnitřní rotor znamená, že rotor je uspořádán s permanentními magnety, které jsou v kruhovém tvaru na vnitřní straně. Vinutí pro generování točivého pole je umístěno na vnější straně a tvoří stator. Elektromotor



má 16 párů pólů. Rotor je namontován na přírubě dutého hřídele, který je připojen na vstupním hřídeli převodovky.

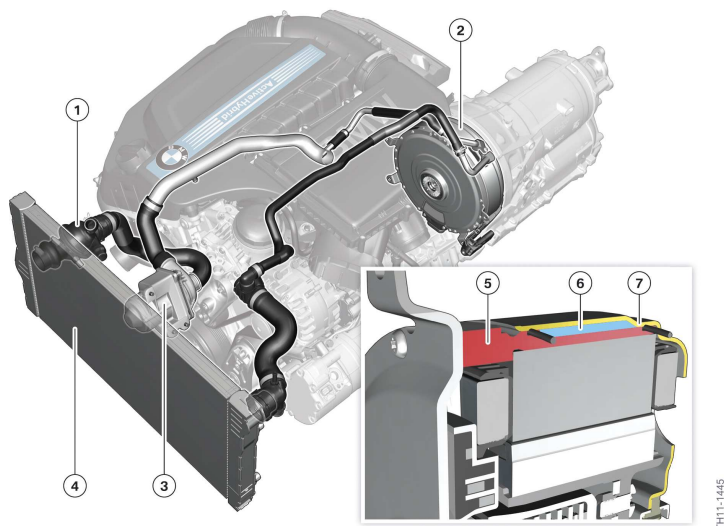
## 6.8. Připojení



Obr.28 Elektromotoru

1. připojení pro chladicí kapalinu
2. elektrická přípojka snímacího systému – poloha rotoru a teplotní čidlo
3. vysokonapěťové připojení

## 6.9. Chlazení



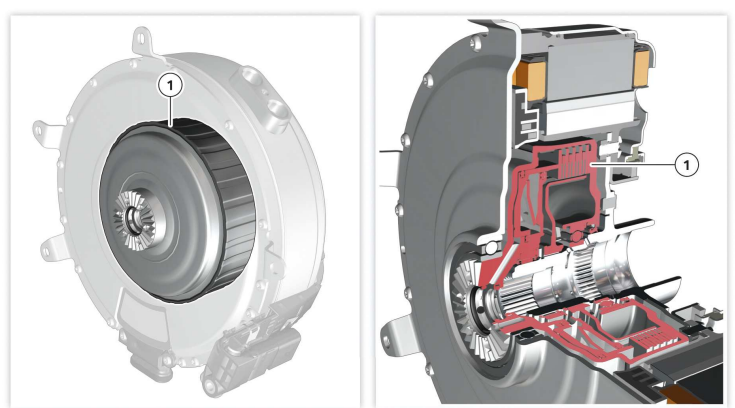
Obr.29 Chlazení elektromotoru

1. Termostat
2. Elektromotor
3. Elektrické čerpadlo chladicí kapaliny
4. Chladič
5. Statorová podpora
6. Potrubí chladicí kapaliny elektromotoru
7. Plášť

Chladicí kanál pro chlazení elektromotoru je umístěn mezi pláštěm statoru a vnějším pláštěm. Chladicí kapalina je přiváděna z chladicího okruhu motoru. Kanál chladicí kapaliny je uzavřen na přední a zadní straně se dvěma těsnícími kroužky.

### 6.10. Oddělovací spojka

Oddělovací spojka je integrována do krytu elektromotoru. Oddělovací spojka je určena jako mokrá z více lamelových kotoučů a používá se k oddělení spalovacího motoru od elektromotoru. Oddělovací spojka je tak extrémně přesná, aby nebylo cítit připojení a odpojení spalovacího motoru. Jakmile je oddělovací spojka uzavřena, tak přenos otáček na vstupním hřídeli spalovacího motoru a elektromotoru jsou stejné.

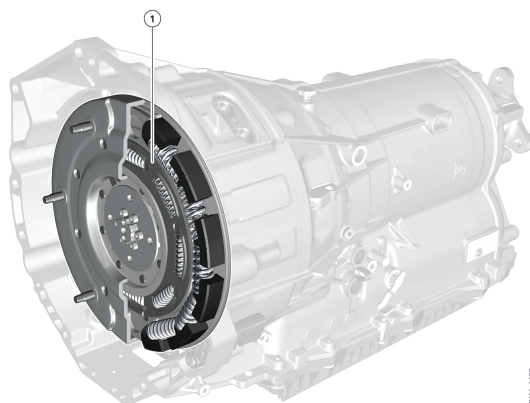


Obr.30 Elektromotoru

1. Oddělovací spojka

### 6.11. Torzní tlumič vibrací

Nerovný běh a výsledné torzní vibrace spalovacích motorů mohou způsobit silné hučení nebo chrastivé zvuky při určitých otáčkách a provozních podmínkách. K zamezení přenášení vibrací ze spalovacího motoru nám slouží torzní tlumič vibrací. Torzní tlumič vibrací vytváří mechanické spojení mezi setrvačníkem spalovacího motoru a oddělovací spojkou z automatické převodovky.

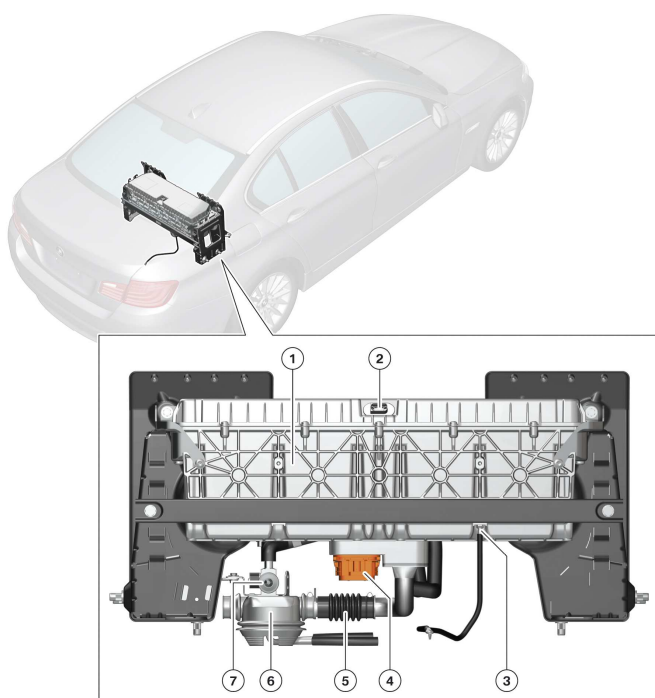


Obr.31 Torzního tlumiče vibrací

1. torzní tlumič vibrací

## 6.12. Vysokonapět'ové bateriové jednotky

Zařízení vysokonapět'ových baterií je umístěno v zavazadlovém prostoru.



Obr.32 modul baterie

1. Vysokonapět'ová bateriová jednotka
2. Připojení signálu pro řízení baterií elektroniky řídicí jednotky
3. Připojení k vyrovnávacím potenciálním linků
4. Vysokonapět'ový připojení
5. Odplynovací potrubí
6. Průchodka
7. Kombinovaná expanze a uzavírací ventil v okruhu chlazení

Jmenovité napětí je 316,8V je to dosaženo zapojením do série 96 bateriových článků. Každý článek má jmenovité napětí 3,3V. Vysokonapěťová bateriová jednotka je tvořena 8-čláňkovými moduly. Každý článkový modul se skládá z 12 článků. Jednotlivé články jsou z lithium-železo-fosfátového materiálu a mají válcový tvar. Tyto články jsou lithium-iontové baterie, jejichž katody jsou vyrobeny z lithium-železo-fosfátu. Články jsou umístěny v chladicích lisovaných profilech. Profily, ve kterých jsou umístěny články, mají vysokou tepelnou vodivost, aby byl zajištěn co největší odvod tepla do externího zdroje. Lithium-iontová technologie článků je citlivá na přetížení, přepětí a přehřátí. Chladivo je vedeno podél článků, které je přiváděno z chladiče.

## 7. Volvo V60 Plug-in hybrid

První Plug-in hybridní automobil s dieslovým motorem a nejvyspělejší model společnosti Volvo Car Corporation. V60 Plug-in hybrid je elektromobil, hybrid a výkonný vůz v jednom, záleží, jaký režim si řidič navolí. Vozidlo je vybaveno kombinovaným výkonem pětiválcového turbodieselu a elektromotoru.



Obr.33 Volvo Plug-in hybrid

Kola přední nápravy modelu V60 Plug-in hybridu pohání pětiválcový turbodiesel se zdvihovým objemem 2,4 litru. Spalovací motor má výkon 215 koní a maximální hodnotu točivého momentu 440Nm. Ke spalovacímu motoru je připojena šestistupňová automatická převodovka.

Kola zadní nápravy jsou poháněna elektromotorem s výkonem 70 koní. Elektromotor je napájen z lithium-iontové baterie s kapacitou 11,2 kWh. Elektromotor s bateriemi je umístěn pod podlahou zavazadlového prostoru.

Baterie je složena z 10 modulů. Každý modul obsahuje 20 článků. Systém je monitorován integrovaným počítačem, který porovnává teplotu a úroveň nabití v každém z 20 článků. Svazek baterií je vybaven integrovaným vodním chladicím systémem, který pohání klimatizační jednotka vozu.

### **7.1. Tři jízdní režimy vozidla**

Řidič si volí třemi tlačítky, v jakém režimu chce, aby se vozidlo pohybovalo. Tři režimy, které se dají nastavit, jsou Pure, Hybrid a Power.



Obr.34 Tři tlačítka režimů

#### **7.1.1. Pure**

V režimu Pure je vůz v maximální míře poháněn pouze elektromotorem. Pokud jsou baterie plně dobity elektřinou, je vozidlo schopno dojet na elektřinu až 50 kilometrů. Výhodou je při plně elektrickém pohonu, že emise oxidu uhličitého jsou nulové. Dojezd na elektrický pohon se liší v závislosti na terénu, stylu jízdy a klimatických podmínkách.

#### **7.1.2. Hybrid**

Režimu hybrid je standardně aktivován při každém nastartování vozidla. Diesellový motor a elektromotor navzájem spolupracují a jejich cílem je dosáhnout optimální rovnováhou jízdních vlastností a nízkým vlivem na životní prostředí. Obsah oxidu uhličitého se v kombinovaném jízdním cyklu pohybuje okolo 49 g/km. Kombinovaná spotřeba paliva je 1,9 l / 100 km. Celkový dojezd vozidla se pohybuje okolo 1000km, záleží na terénu, stylu jízdy a klimatických podmínkách.

### 7.1.3. Power

V režimu Power je technologie optimalizována s důrazem na maximální výkon vozu. Diesellový motor a elektromotor nabízejí kombinovaný výkon, který je 285 koní a maximální točivý moment 640 Nm. Díky rychlé odezvě elektromotoru, jenž je schopen kdykoliv poskytnout maximální točivý moment, dokáže vůz zrychlit z 0 na 100 km/h za 6,2 sekundy.

### 7.2. Šetření energie

V60 Plug-in hybrid je možno nastavit do režimu Save, a tím může šetřit energii uloženou v bateriích na později, například pro průjezd ekologickou zónou nebo pro jízdu v samotném centru města. Je-li aktivován režim Save, palubní systém zajistí pro pozdější jízdu v režimu Pure dost energie v bateriích. V případě potřeby je výkonný generátor schopen baterie nabít tak, aby byly pro systém Pure nabité. Při režimu Save je cílem dosáhnout toho, aby bylo v bateriích zajištěno dostatečné množství energie potřebné pro ujetí přibližně 20 km/h.

### 7.3. Nabíjení

Volvo V60 Plug-in hybrid je možno při parkování dobíjet přímo z běžné zásuvky 230V/6A, 10A, 16A. Doba dobíjení závisí na hodnotě proudu. Plné nabití baterií vozidla proudem 6 A trvá okolo 7,5 hodin, 10 A trvá okolo 4,5 hodiny a 16 A trvá okolo 3,5 hodiny. Po dobu nabíjení je možno interiér vozidla ochlazovat nebo ohřívat. Díky této funkci zbývá více energie v bateriích pro pohon vozidla. Zároveň je tímto způsobem zajištěno ochlazování baterií. Ideální provozní teplota baterií je 20-30 °C. Chlazení baterií je před jízdou velice důležité, neboť přispívá ke zvýšení úrovně jejich nabití.



Obr.35 Způsoby zapojení nabíjení ze sítě

#### **7.4. Pohon všech kol AWD**

Stisknutím tlačítka AWD se aktivuje elektrický systém pohonu všech kol. Namísto mechanického přenosu síly, jenž je využit u klasického systému pohonu všech kol, centrální řídicí jednotka reguluje přenos síly mezi přední kola poháněná dieselovým motorem a zadní kola poháněná elektromotorem. Elektrický systém pohonu všech kol byl navržen s ohledem na zajištění co nejlepšího záběru při rozjezdu a při jízdě po kluzké vozovce. Vzhledem k nižšímu výkonu elektromotoru je však přenos točivého momentu na zadní kola limitován a pohon všech kol je aktivní pouze k dosažení rychlosti 120 km/h. Pokud je režim pohonu všech kol aktivován, dieselový motor pracuje nepřetržitě a generátor zajišťuje, aby byl v bateriích dostatek energie pro pohon zadní nápravy. Jelikož pohon všech kol aktivuje řidič pouze v případech potřeby, je toto řešení ekonomičtější než trvalý pohon všech kol.

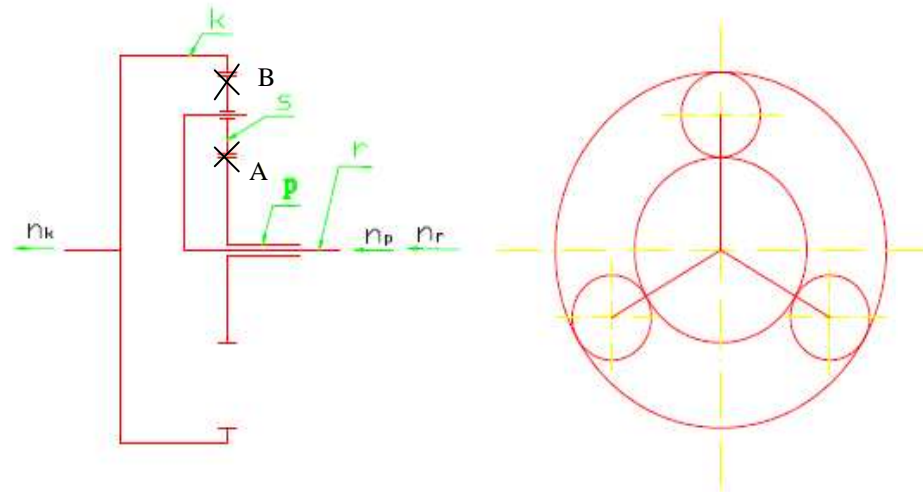
#### **7.5. Dvoustupňový brzdový systém**

Volvo V60 Plug-in hybrid má funkci dvoustupňového brzdového systému. Pokud řidič sešlápne brzdový pedál, začne systém brzdit elektromotorem, který je na zadní nápravě. Energie získaná při brzdění se využívá k dobíjení baterií. Mechanické brzdy jsou aktivovány pouze tehdy, pokud situace vyžaduje vyšší brzdný výkon, než je zadní náprava schopna poskytnout.

## 8. Výpočty planetového soukolí

Výpočty jsou řešeny bez ztrát.

### 8.1. První varianta výpočtu



Obr.36 Planetové soukolí

- k....korunové kolo s výstupem na kola
- s....satelit
- p....planetový kolo poháněný generátorem
- r...unašeč poháněný motorem
- $n_k$ ....otáčky korunového kola
- $n_p$ ....otáčky generátoru
- $n_r$ ....otáčky od motoru

vyjádření k bodu A

$$n_p \cdot z_p = -n_s \cdot z_s + n_r \cdot (z_p + z_s) \quad \Rightarrow \quad n_s = \frac{n_r(z_p + z_s) - n_p \cdot z_p}{z_s}$$

vyjádření otáček satelitu

Vyjádření k bodu B

$$\underline{n_k \cdot z_k = n_s \cdot z_s + n_r \cdot (z_k - z_s)}$$

matematické vyjádření dvou rovnic a

$$n_p \cdot z_p = n_r \cdot z_p + n_r \cdot z_s$$

vyjádření otáček na kola a na generátor

$$\underline{n_k \cdot z_k = n_r \cdot z_k - n_r \cdot z_s}$$

$$n_p \cdot z_p = n_r \cdot z_p$$

$$\underline{n_k \cdot z_k = n_r \cdot z_k}$$

$$n_p \cdot z_p - n_r \cdot z_p = n_r \cdot z_k - n_k \cdot z_k$$



$$n_k = \frac{n_r(z_k + z_p) - n_p \cdot z_p}{z_k}$$

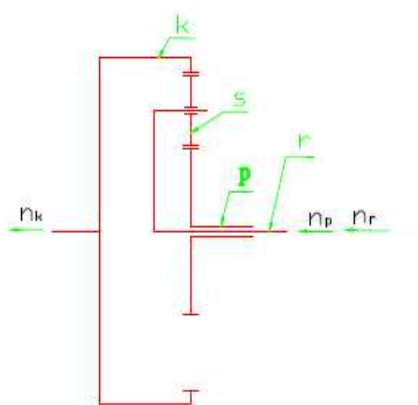
vyjádření otáček na kola

$$n_p = \frac{n_r(z_k + z_p) - n_k \cdot z_k}{z_p}$$

vyjádření otáček na generátor

### 8.1.1. Volnoběh

Při volnoběhu je zabrzděno korunové kolo a otáčky od motoru pohání unašeč a výstup energie je na planetové kolo, které je spojeno s generátorem



Obr.37 Planetové soukolí

$$n_k = 0$$

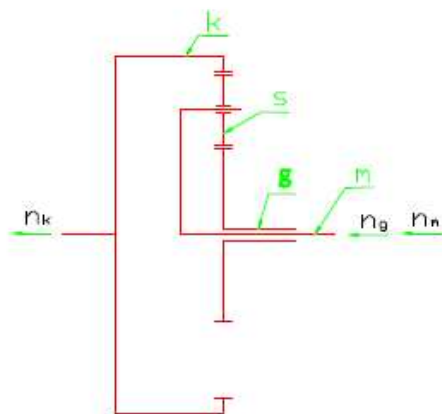
$$n_p = \frac{n_r(z_k + z_p) - n_k \cdot z_k}{z_p}$$

$$n_p = \frac{n_r(z_k + z_p)}{z_p}$$

Vyjádření otáček generátoru pokud jsou otáčky korunového kola nula v závislosti na otáčkách od motoru a počtu zubů korunového kola a planetového kola.

### 8.1.2. Zrychlování

Při zrychlování se otáčí celé planetové soukolí a první výstup je na generátor  $n_g$  a druhý výstup je z korunového kola na kola.



Obr.38 Planetové soukolí

$$n_k \cdot z_k = n_r \cdot (z_k + z_p) - \frac{n_r (z_k + z_p) - n_k \cdot z_k}{z_p}$$

do rovnice k výpočtu otáček

korunového kola je dosazeno  
vyjádření otáček na generátor

$$n_k \cdot z_k + n_k \cdot \frac{z_k}{z_p} = n_r \cdot \left( z_k + z_p - \frac{z_k + z_p}{z_p} \right)$$

$$n_k \cdot \left( z_k + \frac{z_k}{z_p} \right) = n_r \cdot \left( z_k + z_p - \frac{z_k + z_p}{z_p} \right)$$

$$n_k = \frac{n_r \cdot \left( z_k + z_p - \frac{z_k + z_p}{z_p} \right)}{z_k + \frac{z_k}{z_p}}$$

po dosazení vzorce pro výpočet otáček na

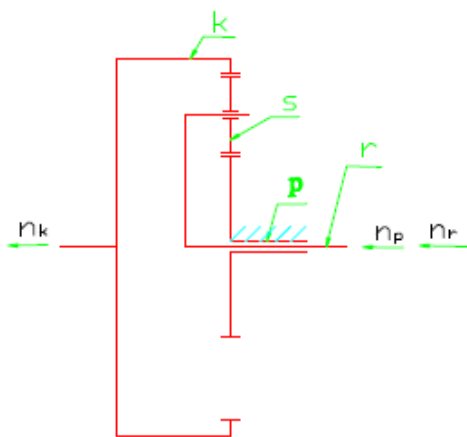
generátor upravená rovnice a vyjádření  
otáček korunového kola

$$n_p = n_r \cdot (z_k + z_p) - \left[ \frac{n_r \cdot \left( z_k + z_p - \frac{z_k + z_p}{z_p} \right)}{z_k + \frac{z_k}{z_p}} \right] \cdot z_k$$

dosazení vyjádřeného vzorce  $n_k$  do vzorce pro výpočet otáček generátoru

### 8.1.3. Jízda vysokou rychlostí

Při vysoké jízdě se planetové kolo prakticky neotáčí, tak je pouze jediný mechanický výstup z korunového kola.



Obr.39 Planetové soukolí

$$n_p = 0$$

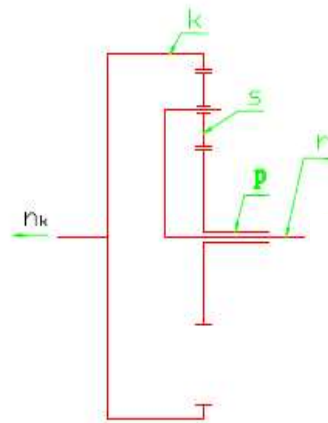
otáčky planetového kola jsou nulový

$$n_k = \frac{n_r (z_k + z_p) - n_p \cdot z_p}{z_k}$$

$$n_k = \frac{n_r (z_k + z_p)}{z_k}$$

Vyjádření otáček korunového kola pokud jsou otáčky planetového kola nula v závislosti na otáčkách od motoru a počtu zubů korunového kola a planetového kola.

## 8.2. Druhá varianta výpočtu



Obr.40 Planetové soukolí

Zastaven unášeč  $n_r = 0$

$$i_{pk}^r = -\frac{|z_k|}{z_p}$$

$$i_{pk}^r = \frac{n_p}{n_k} \quad \Rightarrow \quad n_p = n_k \cdot i_{pk}^r \quad \text{otáčky generátoru}$$

$$\frac{n_s}{n_p} = -\frac{z_p}{z_s} \quad \Rightarrow \quad n_s = -n_p \cdot \frac{z_p}{z_s} \quad \text{otáčky satelitu}$$

$$n_k = \frac{v \cdot 60}{3,6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_d} \quad \text{otáčky korunového kola}$$

Zastaveno planetové kolo  $n_p = 0$

$$i_{rk}^p = \frac{1}{1 - \frac{1}{i_{pk}^r}}$$

$$i_{rk}^p = \frac{n_r}{n_k} \quad \Rightarrow \quad n_k = \frac{n_r}{i_{rk}^p} \quad \text{otáčky korunového kola}$$

Zastaveno korunové kolo  $n_k = 0$

$$i_{rp}^k = \frac{1}{1 - i_{pk}^r} = \frac{1}{i_{pr}^k}$$

$$i_{rp}^k = \frac{n_r}{n_p} \quad \Rightarrow \quad n_p = \frac{n_r}{i_{rp}^k} \quad \text{otáčky generátoru}$$

Pracuje jako diferenciál

Otáčky generátoru vychází z Willisovy rovnice pro diferenciál

$$i_{pk}^r = \frac{\omega_k - \omega_r}{\omega_k - \omega_p}$$

$$\omega_p = \omega_r + i_{pk}^r \cdot (\omega_k - \omega_r) = \omega_r - \frac{|z_k|}{z_p} \cdot (\omega_k - \omega_r)$$

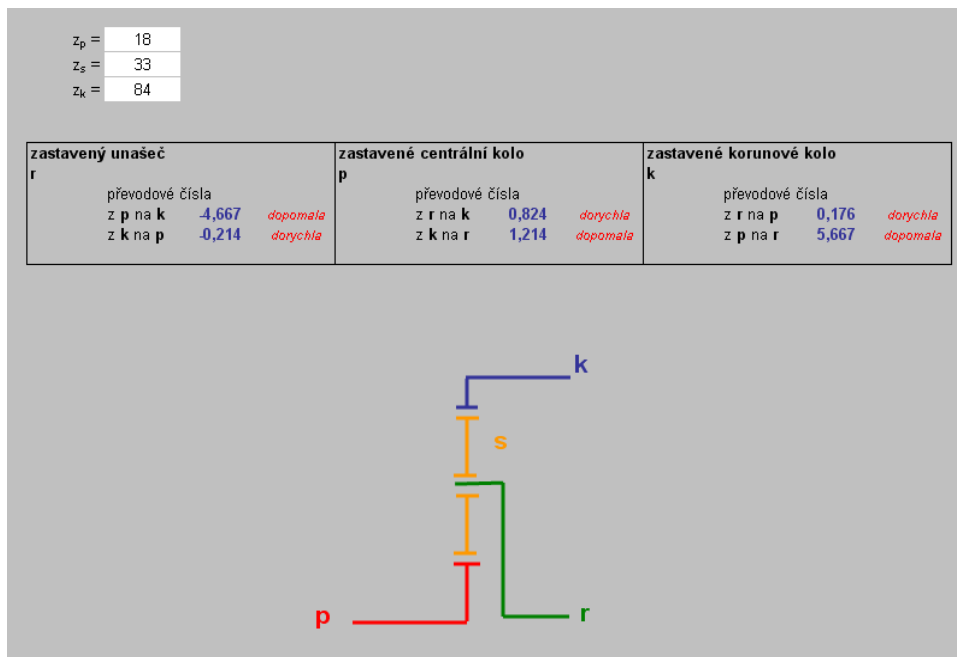
$$n_p = n_r - \frac{|z_k|}{z_p} \cdot (n_k - n_r)$$

### 8.3. Ukázky výpočtů z Excelu

Součástí bakalářské práce jsou ukázky výpočtů. Tyto výpočty byly provedeny v bezproblémově dostupném softwaru Microsoft Excel a soubor je na přiloženém CD.

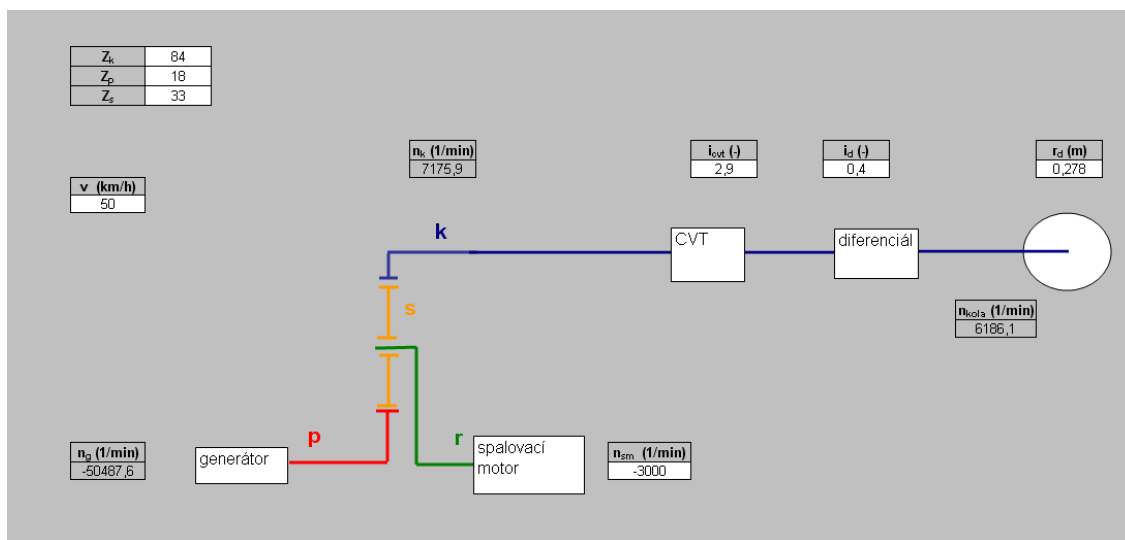
#### 8.3.1. Převodová čísla planetového soukolí

Na listu jedna v Excelovském souboru je schéma jednoduchého planetového soukolí. Po zadání počtu zubů ozubených kol se automaticky spočítají převodová čísla pro všechny možné funkční stavy jako převodovka (tzn. Pro zastavené centrální kolo, korunové kolo nebo unašeč).



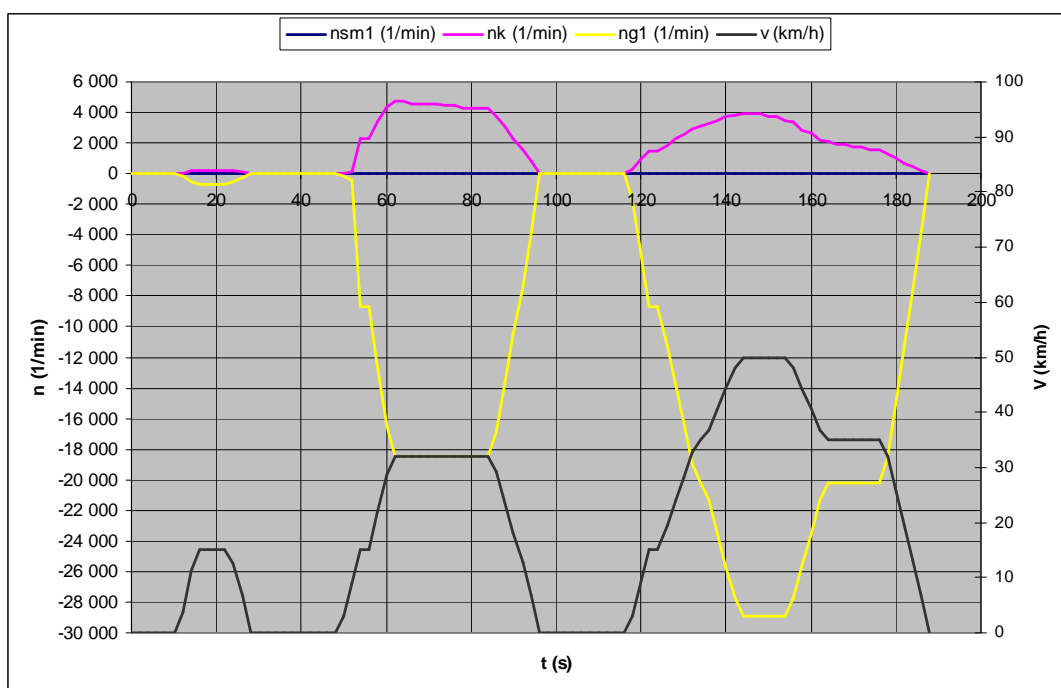
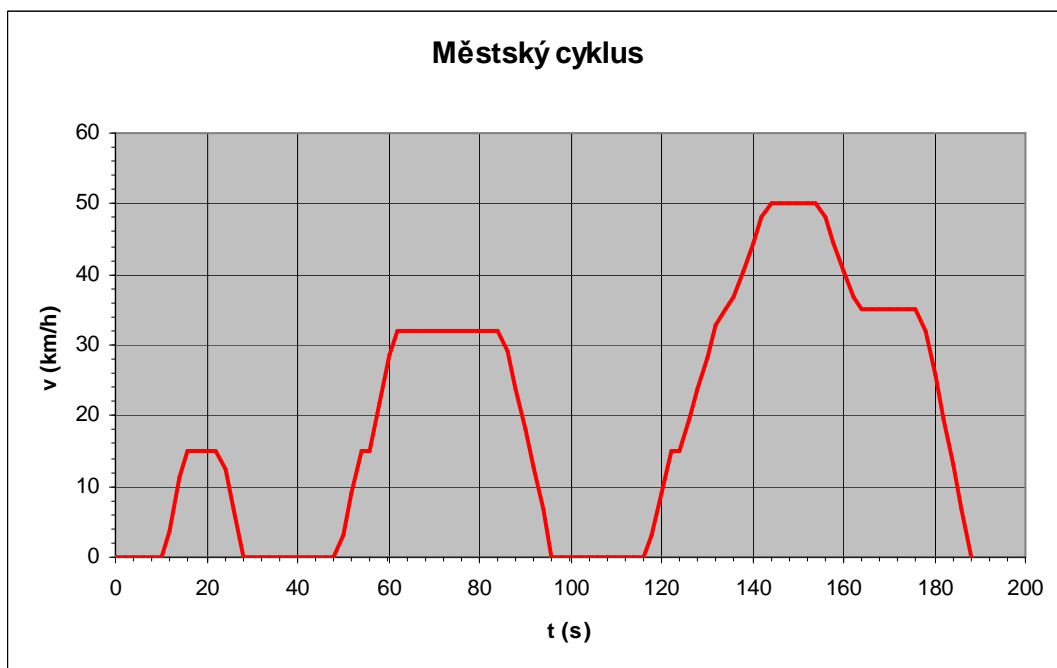
### 8.3.2. Výpočty otáček generátoru a korunového kola

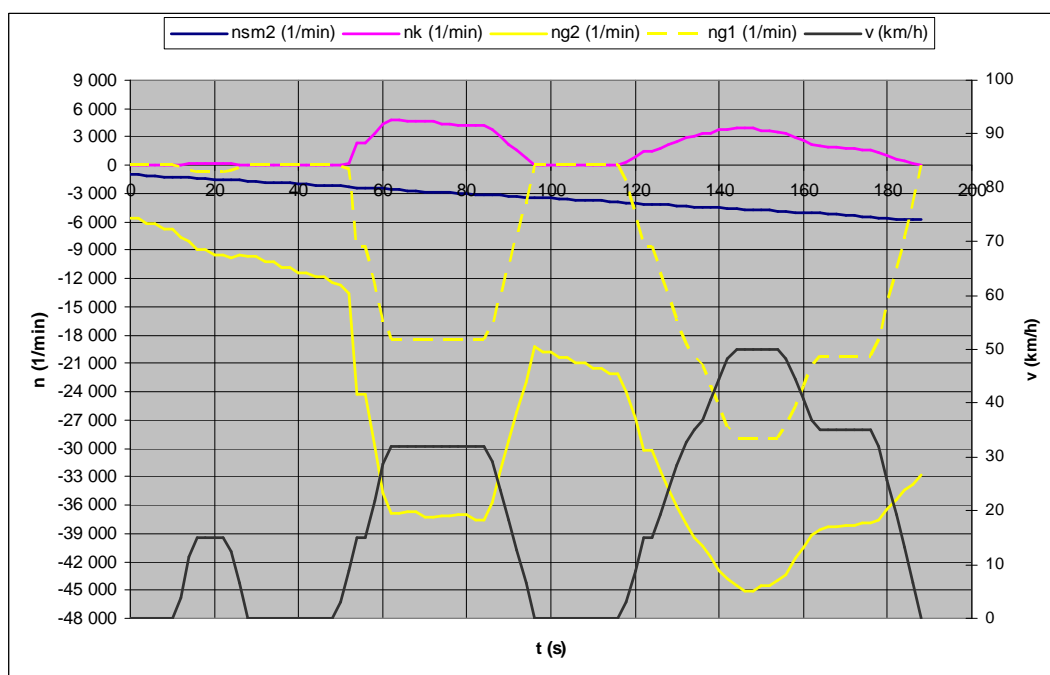
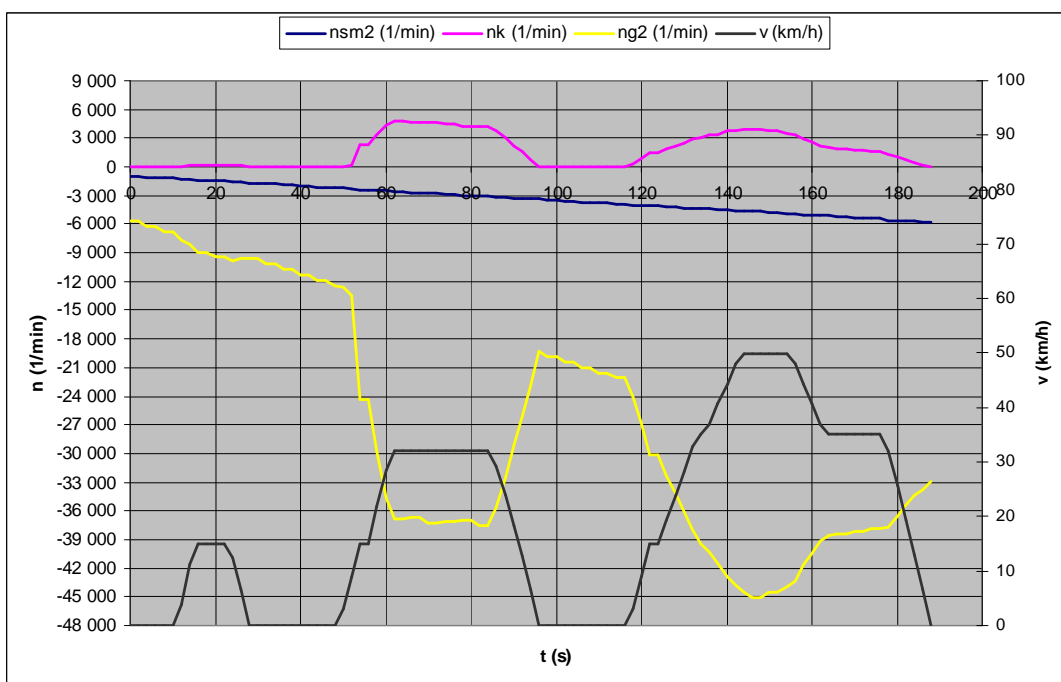
Na druhém listu v Excelovském souboru je výpočet základních provozních otáček jednotlivých komponent u hybridu využívající dělič výkonu (jedno jednoduché planetové soukolí). Volené hodnoty se vyplňují jen do „bílých políček“, všechny ostatní se automaticky vypočítají.



### 8.3.3. Grafy z výpočtů pro městský cyklus

Na listu tři v Excelu jsou využity stejné vzorce jako na předchozím listě, jen se veškeré hodnoty počítají pro zvolený cyklus (v našem případě městský evropský emisní cykl). Vypočtené hodnoty jsou zobrazeny v grafech.





## 9. Závěr

Na začátku psaní bakalářské práce bylo osloveno deset automobilek s cílem poskytnutí informací o jejich hybridních koncepcích a typech vozidel, které uvádějí na trh pro zákazníky. Kladně reagovaly firmy BMW, Porsche, Audi a Volvo. Firmy Toyota,



Lexus a Mercedes-Benz odmítly poskytnout bližší informace, než jsou dostupné na jejich webových stránkách. Zbývající oslovené automobilky neodpověděly dodnes.

V úvodu bakalářské práce je položena otázka, co je to hybrid a popsána celková historie hybridních vozidel, a to od nejznámějších a převratných modelů v historii a ve vývoji hybridů.

Hybridní vozidla jsou rozlišována do dvou dělení. Za prvé se rozlišují podle toku výkonu na sériový, paralelní a kombinovaný hybrid. Za druhé se rozlišují podle stupně hybridizace na Micro, Mild, Full a Plug-in hybrid.

Ve druhé části se práce zabývá popsáním tří různých sériově vybraných a nabízených koncepcí hybridních automobilů, kde byly využity materiály získané přímo od výrobce vozidel nebo dostupné informace z webových stránek.

Prvním vybraným hybridem je Toyota s modelem Prius Plug-in hybrid, který je se svým tokem výkonu kombinovaný hybrid a se stupněm hybridizace Plug-in hybrid. Nejdůležitějším členem je dělič výkonu, což je planetové soukolí, které je popsáno ve třech různých provozech. Dalším důležitým prvkem je převodovka CVT. Prius je jeden z prvních automobilů, jehož baterie se dají nabíjet ze sítě a ne pouze za provozu. Toyota Prius umožňuje jet i pouze na elektrický pohon.

Druhým vybraným hybridem je BMW ActiveHybrid 5, který je podle stupně hybridizace Full hybrid s lithium-iontovými bateriemi a 8-stupňovou automatickou převodovkou. Podle toku výkonu je to sériový hybrid. Nejdůležitějším a nejsložitějším zařízením je převodovka s oddělovací spojkou a elektromotorem.

Třetím vybraným hybridem je Volvo V60 Plug-in hybrid, je zde použit oproti ostatním vybraným koncepcím dieselový motor. Volvo V60 Plug-in hybrid je elektromobil, hybrid a výkonný vůz v jednom, záleží, jaký režim si řidič navolí. Volvo využívá pro pohon přední nápravy dieselový motor a pro pohon zadní nápravy elektromotor. Elektromotor s bateriemi je umístěn pod podlahou zavazadlového prostoru.

V závěru práce jsou výpočty principu jednoduchého planetového soukolí používaného u Toyoty Prius. Výpočet je proveden obecně dvěma způsoby. Na příloženém CD jsou vyrobeny programy pro výpočet převodových čísel jednoduchého planetového soukolí, schéma pro výpočet otáček generátoru a korunového kola a použití systému v městském provozu.

## 10. Seznam použité literatury

- [1] Vlk František: Dynamika motorových vozidel.
- [2] Vlk František: Alternativní pohony motorových vozidel
- [3] Mikulanin: Simulace jízdních emisních cyklů pro klasické vozidlo a hybridní automobil, bakalářská práce 2011
- [4] Muráň Dalibor: Návrh pohonné jednotky hybridního motocyklu, diplomová práce 2011
- [5] podklady a prospekty od automobilek
- [6] Internetové odkazy:  
<http://wot.motortrend.com/volvo-shows-production-ready-2012-v60-plug-hybrid-wagon-geneva-33823.html/2012-volvo-v60-plug-in-hybrid-hybrid-buttons/#axzz2E63jP7ZW>  
<http://www.auto.cz/lexus-rx-450h-full-hybrid-coby-optimum-2083>  
[http://www.mercedes-benz.ie/content/ireland/mpc/mpc\\_ireland\\_website/enng/home\\_mpc/van/home/vans\\_world/sustainable\\_mobility/technologies/bluehybrid.html](http://www.mercedes-benz.ie/content/ireland/mpc/mpc_ireland_website/enng/home_mpc/van/home/vans_world/sustainable_mobility/technologies/bluehybrid.html)  
<http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-historie/>  
<http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/>  
<http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-3-jak-funguje-toyota-prius/>  
<http://www.automobilrevue.cz/vyhledavani.php?vyhledat=hybridn%C3%AD+pohony&x=0&y=0>  
<http://www.hybridcars.com/index.php>